

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 10-2 2024 (ОКТАБРЬ)

Учредитель журнала
Общество с ограниченной ответственностью
«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Журнал издается с 2011 года.

Редакция:

Главный редактор
А.В. Царегородцев
Выпускающий редактор
Ю.Б. Миндлин
Верстка
М.А. Комарова

Подписной индекс издания
в каталоге агентства «Пресса России» — 80016
В течение года можно произвести подписку
на журнал непосредственно в редакции.

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>

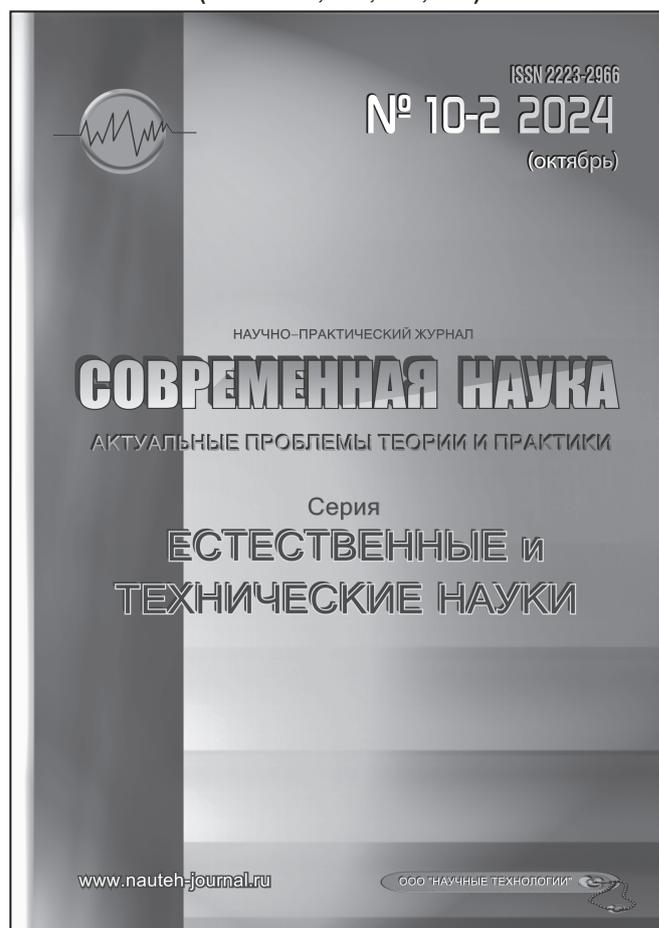
Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия.

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

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(ВАК — 1.1.2, 1.5.x, 2.3.x, 3.1.x)



В НОМЕРЕ:

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

Авторы статей несут полную ответственность
за точность приведенных сведений, данных и дат.

При перепечатке ссылка на журнал
«Современная наука:
Актуальные проблемы теории и практики» обязательна.

Журнал отпечатан в типографии
ООО «КОПИ-ПРИНТ» тел./факс: (495) 973-8296
Подписано в печать 25.10.2024 г. Формат 84x108 1/16
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



Редакционный совет

Атаев Алевдин Рашитханович — д.м.н., профессор, Дагестанский государственный медицинский университет

Безруких Марьям Моисеевна — д.б.н., профессор, Институт возрастной физиологии РАО

Бекетов Сергей Валериевич — д.б.н., ФГБНУ НИИ Пушного звероводства и кролиководства имени В.А. Афанасьева

Белых Владимир Иванович — Д.м.н., доцент, Алтайский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации

Грачев Николай Николаевич — доктор высшей степени в области технических наук (DoctorHabilitatus), профессор, Московский государственный институт электроники и математики НИУ ВШЭ (технический университет)

Гусева Анна Ивановна — д.т.н., профессор, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Зубкова Валентина Михайловна — д.б.н., профессор, Российский государственный социальный университет

Каллаев Нажмудин Омаркадиевич — д.м.н., профессор, Дагестанский государственный медицинский университет

Квасов Андрей Иванович — д.т.н., профессор, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикабаева

Корнеев Андрей Матиславович — д.т.н., профессор, Липецкий государственный технический университет

Корягина Наталья Александровна — д.м.н., доцент, Пермский государственный медицинский университет им. ак. Е.А.Вагнера Министерства здравоохранения Российской Федерации

Кравец Бронислава Борисовна — д.м.н., профессор, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко Министерства здравоохранения Российской Федерации

Кулик Сергей Дмитриевич — д.т.н., доцент, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Матвеев Всеволод Борисович — д.м.н., профессор, ФГБУ РОНЦ им. Н.Н. Блохина, член-корреспондент РАН

Миндлин Юрий Борисович — к.э.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина

Надежкин Сергей Михайлович — д.б.н., профессор, Всероссийский НИИ селекции и семеноводства овощных культур Россельхозакадемии

Овезов Алексей Мурадович — д.м.н., доцент, ГБУЗ МО Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского

Олейникова Светлана Александровна — д.т.н., доцент, Воронежский государственный технический университет

Рахимов Ильгизар Ильясович — д.б.н., профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет

Ромашкова Оксана Николаевна — д.т.н., профессор, Московский городской педагогический университет

Симаков Юрий Георгиевич — д.б.н., профессор, Московский государственный университет им. К.Г. Разумовского (ПКУ)

Симоненков Алексей Павлович — д.м.н., профессор, независимый эксперт

Трапезов Олег Васильевич — д.б.н., в.н.с., ФИЦ «Институт цитологии и генетики СО РАН»

Федорова Оксана Ивановна — д.б.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина

Харитонов Михаил Анатольевич — д.м.н., профессор, Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова

Царегородцев Анатолий Валерьевич — д.т.н., профессор, Московский государственный лингвистический университет redaktor3@nauteh.ru

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Общая биология

Беспалов А.Ф. — Экологическая структура сообществ птиц садово-дачных участков окрестностей г. Казани в гнездовой период
Bespalov A. — Ecological structure of bird communities of garden plots in the vicinity of Kazan during the nesting period.6

Григорян Л.Н., Хаирова Е.А., Русаков А.В. — Скрининг азотфиксирующих бактерий с фунгицидными и фитостимулирующими свойствами из деградированных почвенных экосистем
Grigoryan L., Khairova E., Rusakov A. — Screening of nitrogen-fixing bacteria with fungicidal and phytostimulating properties from degraded soil ecosystems.9

Информатика, вычислительная техника и управление

Белова Е.И., Глухов А.П., Корниенко С.В., Глухов А.А. — Алгоритм оценивания безопасности информационных активов пассажирских перевозок железнодорожным транспортом при нечетких данных
Belova E., Glukhov A., Kornienko S., Glukhov A. — An algorithm for evaluating the security of information assets of passenger transportation by rail with fuzzy data.13

Бесклубная А.В., Бондарь Е.А. — К исследованию динамики системы с комбинированным частотно-фазовым управлением
Besklubnaya A., Bondar' E. — Towards the study of the dynamics of a system with combined frequency-phase control20

Зубарев К.М., Макаричев Г.О. — Мониторинг длительности телефонных переговоров с использованием гамма-распределения
Zubarev K., Makarichev G. — Monitoring the duration of telephone conversations using gamma distribution25

Кичигина О.Ю., Корниенко С.В., Чеботило Е.Ю. — Разработка лабораторного стенда для изучения режимов работы автоматизированной балластной системы судна

Kichigina O., Kornienko S., Chekotilo E. — Development of a laboratory bench for the study of operating modes automated ballast system of the vessel30

Колесников А.А. — Подходы к обеспечению безопасности распределенных баз данных
Kolesnikov A. — Approach to ensuring security of distributed databases34

Куровский С.В., Мишин Д.А., Штыков Р.А. — Задачи и методы формализации и оптимального управления цифровыми сервисами в компаниях
Kurovsky S., Mishin D., Shtykov R. — Tasks and methods of formalization and optimal management of digital services in companies39

Мохорев Д.Е. — Сравнительный анализ служб мониторинга активности в операционных системах Windows и GNU Linux
Mokhorev D. — Comparative analysis of activity monitoring services in Windows and GNU Linux operating systems.46

Муратов И.В. — Информационное обеспечение применения БПЛА при выявлении ДТП на дорогах
Muratov I. — Information support for the use of UAVS in detecting road accidents.58

Муратов И.В. — Системный анализ объектов транспортной инфраструктуры в геоинформационной среде
Muratov I. — System analysis of transport infrastructure facilities in a geoinformation environment63

Нуйакшин М.Г. — Онтологическая модель задач для подготовки к математическим олимпиадам
Nuyakshin M. — Ontological model of problems for preparation for mathematical olympiads.68

- Рыжкова Е.В., Титов Д.Н.** — Оценка эффективности нейросетевых алгоритмов при работе с цифровыми изображениями
Ryzhkova E., Titov D. — Evaluation of the effectiveness of neural network algorithms when working with digital images74
- Сергеев Ю.Н., Пономаренко А.А.** — Формирование рационального варианта управления органами спасательного центра МЧС Тульской области
Sergeev Yu., Ponomarenko A. — Formation of a rational option for managing the bodies of the rescue center of the ministry of Emercom of Tula region78
- Скориков И.О., Хорошко М.Б.** — Проектирование беспроводных сетей для подвижных объектов
Skorikov I., Khoroshko M. — Designing wireless networks for mobile objects84
- Стрижков В.А.** — Анализ стратегий защиты информации от инсайдерской угрозы в облачных вычислениях
Strizhkov V. — Analysis of information protection strategies against insider attacks in cloud computing91
- Тарасов В.С.** — Формирование модели адаптивного обучения на основе технологии непрерывной оценки знаний по результатам освоения учебных материалов
Tarasov V. — Formation of an adaptive learning model based on the technology of continuous knowledge assessment based on the results of learning educational materials96
- Хорошко М.Б., Скориков И.О.** — Архитектура адаптивной беспроводной локальной сети для управления объектами и устройствами
Khoroshko M., Skorikov I. — Architecture of adaptive wireless local network for controlling objects and devices 102
- Часовских В.П., Кох Е.В.** — Математическая модель и алгоритмы распознавания при обработке изображений
Chasovskikh V., Koch E. — Mathematical model and recognition algorithms for image processing 109
- Чочаев А.Х., Толгуров Т.З.** — Азимутальная идентификационная сфера
Chochaev A., Tolgurov T. — Azimuthal identification sphere 116
- Юрчак В.А.** — Применения семантической сети для поиска новых терминов и закономерностей в многомодальных данных АИС на базе искусственного интеллекта
Yurchak V. — Application of semantic network for search of new terms and patterns in multimodal ais data based on artificial intelligence 121
- Клиническая медицина
- Аведова Д.Ю., Осипова Ю.Л., Зюлькина Л.А., Илюнина О.О.** — Оптимизация костной пластики у пациентов с атрофией челюстных костей
Avedova D., Osipova Yu., Ziulkina L., Ilyunina O. — Optimization of bone grafting in patients with jaw bone atrophy 128
- Загорулько А.И., Черняев М.В., Козлов Д.В., Рыков С.П., Розыева М.** — Клинический пример лечения местно-распространенного рака верхнеампулярного отдела прямой кишки неoadъювантной внутриартериальной химиоинфузией в нижнюю брыжеечную артерию при местно-распространенном раке верхнеампулярного отдела прямой кишки
Zagorulko A., Chernyaev M., Kozlov D., Rykov S., Rozyuyeva M. — A clinical case of the treatment of locally advanced cancer of the upper ampullary rectum with neoadjuvant intraarterial chemoinfusion into the inferior mesenteric artery in locally advanced cancer of the upper ampullary rectum 131
- Комаров Р.Н., Ленковец М.** — Результаты реконструкции корня аорты по методике David при различных анатомических вариантах аортального клапана
Komarov R., Lenkovets M. — Results of aortic root reconstruction by the David metod for various anatomical variants of the aortic valve 136
- Комаров Р.Н., Ленковец М.** — Результаты реконструкции корня аорты по методике David при ассиметричной анатомии бicuspidального аортального клапана
Komarov R., Lenkovets M. — Results of aortic root reconstruction by the David metod for asymmetric anatomy of the aortic valve 144

Коротких И.Н., Бочарова М.П. — Реабилитация репродуктивной функции у пациенток после хирургического лечения эндометриоза <i>Korotkikh I., Bocharova M.</i> — Rehabilitation of reproductive function in patients after surgical treatment of endometriosis..... 150	<i>Salikhova M., Budaichiev G., Nabgouri Yunes, Bakhtiyarova G.</i> — The role of <i>Porphyromonas gingivalis</i> in the pathogenesis of oral squamous cell carcinoma..... 177
Кумахов А.А., Жукова Н.Г. — Развитие ранних выраженных дискинезий при лечении леводопой. Разбор клинического случая <i>Kumakhov A., Zhukova N.</i> — The development of early pronounced dyskinesia in the treatment of levodopa. Analysis of a clinical case..... 156	Смотрич Е.А., Кузнецова А.С. — Рефракционная хирургия глаза: современные достижения и перспективы <i>Smotrich E., Kuznetsova A.</i> — Refractive eye surgery: modern achievements and perspectives 181
Османова А.В., Кудяев М.Т., Каллаева А.Н., Атаева З.Н., Гусейнова Р.К., Гаджиева Т.А., Эзиляева М.Р. — Дапаглифлозин у пациентов с ХСН в сочетании с постковидным синдромом <i>Osmanova A., Kudaev M., Kallaeva A., Ataeva Z., Guseinova R., Gadzhieva T., Ezilyaeva M.</i> — Dapagliflozin in patients with CHF in combination with post-covid syndrome 159	Софроницкая К.В., Фищев С.Б., Севастьянов А.В., Павлова С.Г., Шторина А.А., Пуздырева М.Н., Филатова О.О., Ниорадзе М.Г. — Особенности ортодонтического лечения пациентов аппаратами быстрого небного расширения <i>Sofronitskaya K., Fischev S., Sevastyanov A., Pavlova S., Shtorina A., Puzdyreva M., Filatova O., Nioradze N.</i> — Features of orthodontic treatment of patients with rapid palatine dilation devices 186
Роцин Е.М. — Биомеханическое моделирование и конечно-элементный анализ в оптимизации ортопедического лечения на дентальных имплантатах <i>Roshchin E.</i> — Biomechanical modeling and finite element analysis in optimizing orthopedic treatment on dental implants 165	Фищев С.Б., Севастьянов А.В., Климов А.Г., Рожкова М.Г., Павлова С.Г., Кондратюк А.А., Шторина А.А., Пуздырева М.Н. — Особенности диагностики глубокой резцовой дизокклюзии методом рентгеноцефалометрического анализа <i>Fischev S., Sevastyanov A., Klimov A., Rozhkova M., Pavlova S., Kondratyuk A., Shtorina A., Puzdyreva M.</i> — Features of diagnosis of deep incisor dysocclusion by X-ray cephalometric analysis 193
Роцин Е.М. — Синдром обструктивного апноэ сна и окклюзионные нарушения: двунаправленные взаимосвязи и терапевтические стратегии <i>Roshchin E.</i> — Obstructive sleep apnea syndrome and occlusive disorders: bidirectional relationships and therapeutic strategies 171	Цветков Ю.А., Бессонов С.Н., Цветков А.В., Галстян С.Г., Тимофеев Е.В., Румянцев Н.В. — Сравнительный анализ результатов аугментации костной ткани альвеолярного отростка (части) челюсти с помощью ксенопластических и аутопластических материалов <i>Tsvetkov Yu., Bessonov S., Tsvetkov A., Galstyan S., Timofeev E., Rumyantsev N.</i> — Comparative analysis of the results of bone grafting of the alveolar process (part) of the jaw with xenoplastic and autoplasmic materials 198
Салихова М.М., Будаичиев Г.М.-А., Набгури Юнес, Бахтиярова Г. — Роль бактерий <i>Porphyromonas gingivalis</i> в патогенезе оральное плоскоклеточного рака	Наши авторы 204

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ПТИЦ САДОВО-ДАЧНЫХ УЧАСТКОВ ОКРЕСТНОСТЕЙ Г. КАЗАНИ В ГНЕЗДОВОЙ ПЕРИОД

ECOLOGICAL STRUCTURE OF BIRD COMMUNITIES OF GARDEN PLOTS IN THE VICINITY OF KAZAN DURING THE NESTING PERIOD

A. Bepalov

Summary. This article examines the features of the ecological structure of ornithocenoses of garden and summer cottages. The differences in the avifauna of the three gardens were analyzed by ecological type, type of nesting, type of nutrition, and belonging to the zoogeographical complex. The determining role of tree and shrub fruit crops in the formation of the fauna of birds in these habitats is shown. The dependence of the nesting population of birds on the type of adjacent biotopes is revealed.

Keywords: avifauna, birds, ecological structure, garden plots, anthropogenic impact.

Беспалов Александр Федорович

Кандидат биологических наук, доцент,
Казанский (Приволжский) федеральный университет
kerwood@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются особенности экологической структуры орнитоценозов садово-дачных участков. Проанализированы различия орнитофауны трех садов по экологическому типу, типу гнездования, типу питания, принадлежности к зоогеографическому комплексу. Показана определяющая роль древесных и кустарниковых плодовых культур в образовании фауны птиц данных местообитаний. Выявлена зависимость гнездового населения птиц от типа смежных биотопов.

Ключевые слова: орнитофауна, птицы, экологическая структура, садово-дачные участки, антропогенное воздействие.

В свое время экономические особенности постперестроечной поры нашей страны привели к росту площадей, занимаемых садово-дачными участками. Наиболее сильно это коснулось окрестностей крупных населенных пунктов, например, таких, как город Казань, столица Республики Татарстан. Обычно это были территории, состоящие из отдельных участков по 300–600 квадратных метров, разделенных оградками и аллеями, где на сравнительно небольшой площади каждого участка хозяева пытались разместить элементы плодово-ягодного сада, огорода, жилые и вспомогательные постройки. В конце концов, здесь формировались экосистемы, обладающие основными свойствами естественных местообитаний, своей спецификой и структурой существования растений и животных, подверженные антропогенному влиянию (Беспалов, 2001, 2004, 2011, 2013; Нуртдинова, Пястолова, 2004). Внимание зоологов к данному типу местообитаний в целом было небольшим, поэтому изучение особенностей фауны и населения животных садово-дачных участков актуально, в том числе и для разработки научно обоснованных программ рационального использования человеком окрестностей городов при сохранении биологического разнообразия.

Садово-дачные участки окрестностей города Казани представляют собой подходящие территории для подобных исследований. Казань расположена практически в центре экономически развитого Приволжско-

го федерального округа Российской Федерации, входя в состав 13 крупнейших городов-миллионеров, находясь на восьмом месте по числу жителей (Панасюк, 2005).

Цель работы — охарактеризовать экологическую структуру сообществ птиц садово-дачных участков в гнездовой период. Для достижения цели были поставлены задачи: описать птичьи сообщества данного биотопа по экологическому типу, типу гнездования, типу питания, принадлежности к зоогеографическому комплексу, выявить зависимость гнездового населения птиц от типа смежных биотопов.

Для многолетних исследований (1996–2024 годы) нами было выделено три отдельных местообитания, различающихся временем образования и типами смежных биотопов, что для удобства восприятия мы отразили в названиях. Первое местообитание «Старые дачи» — старые садово-дачные участки, расположенные на левом берегу реки Казанка в садоводческом товариществе «Вишенка» к северо-западу от железнодорожной станции Дербышки. Как садово-дачное, данное местообитание эксплуатируется с 1970-ых годов, смежными участками с трех сторон выступают другие садово-дачные товарищества. Второе местообитание «Дачи у поля» расположено в садоводческом товариществе «Чулпан» в 2 км к юго-западу от деревни Кирилловка Высокогорского района. Данное местообитание, как садово-дачное

эксплуатирующееся с 1990-ых годов, граничит с полями, на которых и было создано. Третье местообитание «Дачи у леса» находится в 2 км западнее села Семиозерка Высокотгорского района в садоводческом товариществе «Заря» (участки эксплуатируются с 1980-х годов). С трех сторон территорию товарищества окружает лес, четвертая сторона граничит с крупным массивом других садовых товариществ. Минимальное расстояние по прямой линии между изучаемыми местообитаниями составляло 12 километров.

При отнесении птиц к определенным экологическим группам мы руководствовались работой В.С. Вечканова с соавторами (2006), при определении принадлежности птиц к зоогеографическому комплексу — работой Б.К. Штегмана (1938).

Чтобы лучше охарактеризовать птичье население садово-дачных участков, исключая случайные виды, были взяты только фоновые виды птиц в каждом местообитании. Единично и спорадически (не ежегодно) встречающиеся виды не учитывались, даже если некоторые из них были встречены на гнездовании в данном местообитании, как например в 2017 году была неудачная попытка гнездования кряквы *Anas platyrhynchos* на территории участков «Дачи у леса».

Всего было выделено 40 фоновых видов, из которых во всех трех местообитаниях присутствовали: белая трясогузка *Motacilla alba*, обыкновенный скворец *Sturnus vulgaris*, сорока *Pica pica*, серая ворона *Corvus cornix*, садовая камышевка *Acrocephalus dumetorum*, садовая славка *Sylvia borin*, обыкновенный соловей *Luscinia luscinia*, варакушка *Luscinia svecica*, большая синица *Parus major*, полевой воробей *Passer montanus*, обыкновенная зеленушка *Chloris chloris*, обыкновенная чечевица *Carpodacus erythrinus*, обыкновенная овсянка *Emberiza citrinella*.

Кроме того, в местообитании «Старые дачи» к вышеперечисленным добавлялись: деревенская ласточка *Hirundo rustica*, пеночка-весничка *Phylloscopus trochilus*, обыкновенная горихвостка *Phoenicurus phoenicurus*, рябинник *Turdus pilaris* и обыкновенная лазоревка *Parus caeruleus*.

В местообитании «Дачи у поля», кроме общих видов, присутствовали: черный коршун *Milvus migrans*, полевой лунь *Circus cyaneus*, сизый голубь *Columba livia*, обыкновенная кукушка *Cuculus canorus*, вертишейка *Jynx torquilla*, пестрый дятел *Dendrocopos major*, деревенская ласточка *Hirundo rustica*, полевой жаворонок *Alauda arvensis*, грач *Corvus frugilegus*, ворон *Corvus corax*, серая славка *Sylvia communis*, обыкновенная каменка *Oenanthe oenanthe*, черноголовый щегол *Carduelis carduelis* и коноплянка *Acanthis cannabina*.

В местообитании «Дачи у леса» так же присутствовали: черный коршун *Milvus migrans*, обыкновенная кукушка *Cuculus canorus*, вертишейка *Jynx torquilla*, пестрый дятел *Dendrocopos major*, лесной конек *Anthus trivialis*, ворон *Corvus corax*, серая славка *Sylvia communis*, пеночка-весничка *Phylloscopus trochilus*, зеленая пеночка *Phylloscopus trochiloides*, серая мухоловка *Muscicapa striata*, обыкновенная горихвостка *Phoenicurus phoenicurus*, зарянка *Erithacus rubecula*, рябинник *Turdus pilaris*, черный дрозд *Turdus merula*, белобровик *Turdus iliacus*, певчий дрозд *Turdus philomelos*, обыкновенная лазоревка *Parus caeruleus*, обыкновенный поползень *Sitta europea*, зяблик *Fringilla coelebs*, черноголовый щегол *Carduelis carduelis*, коноплянка *Acanthis cannabina*.

Таким образом, в местообитании «Старые дачи» было выявлено 18 фоновых видов, в местообитании «Дачи у поля» — 27 фоновых видов и в местообитании «Дачи у леса» — 34 фоновых вида, из них 13 видов были общими для всех трех местообитаний, и должны восприниматься как ядро фауны птиц садово-дачных участков во время гнездового периода.

В целом, если рассматривать вместе все три местообитания, больше половины видов птиц садово-дачных участков относятся к лесному комплексу (60 %), меньше чем в 4 раза оказалось птиц открытых пространств (17 %), еще меньше синантропных (13 %) и эвритопных (10 %) птиц. Это говорит о том, что условия садово-дачных участков хорошо подходят для лесных птиц из-за присутствия разнообразных древесно-кустарниковых плодовых пород.

По типу гнездования наибольшее количество птиц приходится на три группы: гнездящихся в кронах деревьев (30 %), гнездящихся на земле (22 %) и дуплогнездящихся (20 %), чуть меньше птиц, гнездящихся в кустарниковых зарослях (10 %) и полудуплогнездящихся (7 %). Незначительное количество птиц, гнездящихся в строениях человека (5 %), гнездящихся в норах и гнездовых паразитов (по 3 %). С одной стороны, всё это так же говорит об определяющей роли древесных и кустарниковых плодовых культур в образовании фауны птиц садово-дачных участков. С другой стороны, присутствие немалого количества наземногнездящихся птиц, несомненно, связано с наличием густых или колючих кустарников и часто узких заросших сорной растительностью полос по краям участков, где обычно почва человеком не обрабатывается, да и само посещение их ограничивается, что снижает фактор беспокойства. Заметим, что птиц, связанных по гнездованию со строениями человека, оказалось лишь 5 %.

По типу питания на территории садово-дачных участков главным образом встречаются насекомоядные птицы (45 %), или же птицы, потребляющие как беспозвоночных, так и растительную пищу (38 %). Это свидетельствует

об определяющей роли присутствия большого количества различных беспозвоночных животных, особенно насекомых, в садах в привлечении на данную территорию птиц. Если учесть, что большинство беспозвоночных из этого числа являются вредителями культивируемых садовыми растениями, мы можем говорить об огромной роли птиц в истреблении этих вредителей. Птиц других групп присутствует незначительное количество: всеядных 8 %, полифагов 5 %, миофагов и фитофагов по 2 %.

Среди фауны птиц садово-дачных участков преобладают птицы европейского зоогеографического комплекса (62 %). Вторая крупная группа (тем не менее, оказавшаяся более чем в два раза меньше первой) является транспалеарктиками (25 %). Другие зоогеографические комплексы здесь почти не представлены: сибирский — 5 %, китайский — 5 %, средиземноморский — 3 %.

При сравнении фауны птиц трех различных местообитаний мы получили следующие результаты. Количество видов птиц садово-дачных участков зависит от типа соседних биотопов и особенно увеличивается при близости лесного биотопа (34 вида) за счет птиц лесного комплекса (24 вида), перебирающихся на территорию садово-дачных участков. При этом видов открытых пространств и эвритопных присутствует по 4 вида, синантропов — 2 вида. При соседстве с полями и лугами в сообществе птиц садово-дачных участков (27 видов) увеличивается доля группы видов открытых пространств (7 видов), лесных при этом 11 видов, синантропных — 5 видов, эвритопных — 4 вида.

На большом массиве старых садово-дачных участков, не граничащем ни с лесами, ни с открытыми пространствами, оказалось меньше всего (18) видов, большинство которых относились к лесному типу (9 видов, к остальным типам относилось по 3 вида), что лишним раз подчеркивает роль садовой древесно-кустарниковой растительности в привлечении птиц в данные биотопы.

Об этом же говорит и распределение видов птиц по местам гнездования. В граничащих с лесами участ-

ках увеличивается число видов птиц кроногнезdnиков (до 11 видов), дуплогнезdnиков (до 8 видов) и наземногнезdnящихся (до 7 видов), в последнем случае, как отмечалось ранее, из-за наличия определенных необрабатываемых мест, располагающихся у границ. В граничащих с полями участках кроногнезdnиков — 7 видов, дуплогнезdnиков — 5 видов, наземногнезdnящихся — 6 видов. В старых крупных участках садов соотношение этих групп — 4, 5, 5 соответственно.

По типу питания, несомненно, для всех садово-дачных участков характерно доминирование групп птиц насекомоядных (18 видов) и насекомоядно-растительных (15 видов). При этом виды второй группы во время гнездового сезона по большей части тоже насекомоядны. Это опять-таки свидетельствует о присутствии на садово-дачных участках благодаря создаваемым людьми условиям повышенного числа беспозвоночных животных, что служит главным фактором привлечения в данные местообитания птиц.

Таким образом, в целом, для садово-дачных участков характерно упрощение структуры сообществ птиц. Как нами было замечено и ранее (Беспалов, 2010, 2011), при образовании данного сообщества сначала фауна складывается из видов предыдущего биотопа, постепенно, при трансформации ландшафта и увеличении антропогенного пресса, одни виды исчезают из-за невозможности селиться и кормиться, а другие появляются или повышают численность. При этом для птиц важно увеличение числа насекомых и других беспозвоночных животных и появление разнообразных мест для гнездования, связанных с растениеводством. Показано нами и влияние соседних местообитаний на фауну птиц садово-дачных участков. Сплошной перевод естественных биотопов в садово-дачный, часто происходящий вблизи крупных городов, значительно обедняет общее биоразнообразие, и недопустим при рациональном использовании окрестностей городов. Необходимо сохранять участки лесных и открытых биотопов, перемежающиеся с садами для повышения общего биоразнообразия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беспалов А.Ф. К изучению герпетофауны садово-дачных участков низовий р. Казанки (Республика Татарстан). — Актуальные проблемы герпетологии и токсикологии: Сборник научных трудов. Вып. 5. — Тольятти, 2001. — С. 23–28.
2. Беспалов А.Ф. Тетраподофауна садово-дачных участков Приказанья. — Актуал. экол. проблемы Республики Татарстан. — Казань, 2004. — С. 29–30.
3. Беспалов А.Ф. Особенности фауны и населения тетрапод садово-дачных участков // Эколого-биологические проблемы Сибири и сопредельных территорий: Материалы II научно-практической конференции с международным участием (г. Нижневартовск, 30 марта 2011 г.). — Нижневартовск: Изд-во НГУ, 2011. — С.230–236.
4. Беспалов А.Ф. Амфибии и рептилии садово-дачных участков // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. — Т. 18. №6–1. — С. 2981–2984.
5. Вечканов В.С. Животный мир Мордовии. Позвоночные: учебное пособие / В.С. Вечканов, Л.Д. Альба, А.Б. Ручин, В.А. Кузнецов. — Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2006. — 292 с.
6. Нуртдинова Д.В. Экологические особенности мелких млекопитающих коллективных садов / Д.В. Нуртдинова, О.А. Пястолова // Экология. — 2004. — № 5. — С. 380–385.
7. Панасюк М.В. Социально-экономическая и геополитическая характеристика Казани // Экология города Казани. — Казань, 2005. — С. 22–30.
8. Штегман Б.К. Основы орнитологического деления Палеарктики // Фауна СССР. Птицы. Т. 1, вып. 2. — М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1938. — 156 с.

© Беспалов Александр Федорович (kerwood@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СКРИНИНГ АЗОТФИКСИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ С ФУНГИЦИДНЫМИ И ФИТОСТИМУЛИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ ИЗ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ПОЧВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ¹

SCREENING OF NITROGEN-FIXING BACTERIA WITH FUNGICIDAL AND PHYTOSTIMULATING PROPERTIES FROM DEGRADED SOIL ECOSYSTEMS²

**L. Grigoryan
E. Khairova
A. Rusakov**

Summary. The studies confirmed the high significance of screening nitrogen-fixing bacteria with fungicidal and phytostimulating properties from degraded soil ecosystems. Cultures of nitrogen-fixing bacteria from degraded soil ecosystems of the Astrakhan region were isolated. Fungicidal activity of isolates of nitrogen-fixing microorganisms against phytopathogenic micromycetes was established. The study of phytostimulating properties of the selected isolates showed that six of the studied isolates exhibit growth-regulating activity on tomato and radish.

Keywords: soil ecosystems, screening, nitrogen fixers, fungicidal activity, phytostimulation.

Григорян Лилит Норайровна

Кандидат биологических наук, ФГБОУ ВО «Астраханский
государственный университет им. В.Н. Татищева»
lilyagrigoryan90@mail.ru

Хаирова Екатерина Алексеевна

Аспирант, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
университет им. В.Н. Татищева»
anikina.ekaterina199@gmail.com

Русаков Александр Вячеславович

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
университет им. В.Н. Татищева»
bumbiro-schepard@mail.ru

Аннотация. Исследования подтвердили высокую значимость скрининга азотфиксирующих бактерий с фунгицидными и фитостимулирующими свойствами из деградированных почвенных экосистем. Выделены культуры азотфиксирующих бактерий из деградированных почвенных экосистем Астраханской области. Установлена фунгицидная активность изолятов азотфиксирующих микроорганизмов в отношении фитопатогенных микромицетов. Изучение фитостимулирующих свойств отобранных изолятов показало, что шесть исследуемых изолятов проявляют рострегулирующую активность на томате и редисе.

Ключевые слова: почвенные экосистемы, скрининг, азотфиксаторы, фунгицидная активность, фитостимуляция.

Введение

Актуальность и важность азотфиксирующих бактерий в почвенных экосистемах

Наряду с воздухом и водой почвенная экосистема является важнейшим и одним из наиболее значимых природных ресурсов, поддерживающих жизнь и экосистемные процессы [6]. Почвенные экосистемы играют фундаментальную роль в поддержании жизни на Земле, выступая в качестве основной среды для роста растений и жизненно важного компонента глобальных биогеохимических циклов [3].

Среди разнообразных микроорганизмов, населяющих почву, азотфиксирующие бактерии играют важную роль благодаря своей уникальной способности преобразовывать атмосферный азот (N_2) в аммиак (NH_3), фор-

му азота, доступную для растений. Этот процесс биологической фиксации азота имеет решающее значение для поддержания плодородия почвы, особенно в экосистемах, где азот является фактором, ограничивающим рост растений, например, в бореальных лесах [5].

Поскольку современные методы ведения сельского хозяйства все больше полагаются на синтетические удобрения для удовлетворения растущего мирового спроса на продовольствие, устойчивость этих методов и их воздействие на окружающую среду стали предметом пристального внимания [4]. В этом контексте изучение и применение азотфиксирующих бактерий предлагает многообещающие альтернативы для повышения плодородия почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур более устойчивым и экологически безопасным способом.

¹Исследование выполнено при поддержке Программы развития Астраханского государственного университета (Приоритет-2030)

²This research was supported by the Astrakhan State University Development Program (Priority-2030).

Проблема деградации почв и её последствия

По мере того как численность населения земли приближается к прогнозируемому уровню в 9,5 миллиардов человек к 2050 году, естественная и антропогенная деградация почв остаётся актуальной проблемой. Деградация почв вызвана многими факторами, включая чрезмерную обработку почвы, неправильный севооборот, чрезмерный выпас скота или удаление растительных остатков, вырубку лесов, строительство и разрастание городов, что приводит к истощению питательных веществ, эрозии или загрязнению [7].

Почти пустынный климат Астраханской области, расположенной на Прикаспийской низменности в южной части России, препятствует ведению сельского хозяйства. В Астраханской области имели место длительные периоды деградации почв и опустынивания, которые привели к снижению продуктивности сельского хозяйства и новой фазе биосферы, характеризующейся экологическим стрессом и дестабилизацией. Как правило, основные причины засухи — это увеличение нагрузки на окружающую среду (например, чрезмерный выпас скота), особенно в условиях засушливых климатических условий, и высокая температура воздуха, которые не позволяют развиваться растениям или удерживать влагу в почве. Деградация почвы снижает не только способность поддерживать рост растений, но и способность поглощать углерод, усугубляя изменение климата [1].

Естественные микробные сообщества, в том числе азотфиксирующие бактерии, часто нарушаются или значительно сокращаются в деградированной почве. Такое сокращение численности полезных микроорганизмов ещё больше усугубляет деградацию почвы, создавая порочный круг, в результате которого почва может потерять свою способность восстанавливаться и поддерживать здоровый рост растений.

Таким образом, восстановление повреждённых почв путём восстановления или укрепления популяции полезных микроорганизмов имеет решающее значение для этих экосистем, поскольку это играет важную роль в их восстановлении и повышении продуктивности сельского хозяйства. Целью данного исследования является применение азотфиксирующих бактерий, обладающих фунгицидными и фитостимулирующими свойствами, для компенсации снижения плодородия почвы.

Роль азотфиксирующих бактерий, обладающих фунгицидными и фитостимулирующими свойствами

Некоторые азотфиксирующие бактерии не только фиксируют азот, но и обладают фунгицидными и стимулирующими рост свойствами. Фунгицидные свойства этих бактерий позволяют им подавлять рост или унич-

тожать фитопатогенные грибы (*Roesleria subterranea*, *Rhizoctonia salicinum*, *Neotiella heteri*, и т.д.). Фитостимулирующие свойства, с другой стороны, включают в себя производство гормонов и других биологически активных веществ, которые способствуют росту растений.

Ризобактерии, стимулирующие рост растений, это группа бактерий, обитающих в ризосфере таких растений, как чай и табак. Они обладают такими свойствами, как фиксация азота, растворение калия и фосфора, выработка фитогормонов и растворение питательных веществ в почве, что делает их доступными для усвоения корнями растений. Примерами таких ризобактерий являются: *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Azotobacter* и *Bacillus*. [8] они также подавляют патогены растений, выделяя вторичные метаболиты или вызывая иммунный ответ [2]. Другим примером таких бактерий являются цианобактерии — помимо своей азотфиксирующей способности, они также служат резервуаром для N, P, K, Mg, S и Fe; они способствуют удержанию влаги в почве и улучшению ее характеристик, выделению вторичных метаболитов с фунгицидными свойствами, поддержанию pH, и некоторые исследования показывают, что они играют важную роль в поддержании кислотности почвы, удалении тяжёлых металлов. [2]

Сочетание этих азотфиксирующих бактерий с фунгицидными и фитостимулирующими свойствами даёт уникальную возможность одновременно решать множество проблем в деградированных почвенных экосистемах.

Выделение и скрининг таких бактерий из деградированных почв имеют ключевое значение для выявления штаммов, которые могут быть использованы в усилиях по биоремедиации и в качестве биоудобрений в устойчивом сельском хозяйстве. Внесение этих бактерий в почву может помочь восстановить здоровье почвы за счёт реинтродукции полезных микроорганизмов в деградировавшие экосистемы, улучшения структуры почвы, повышения доступности питательных веществ и защиты растений от болезней. Использование этих бактерий в качестве биоудобрений также снижает зависимость от химических удобрений и пестицидов, тем самым смягчая воздействие традиционных методов ведения сельского хозяйства на окружающую среду.

Основной целью данного исследования является скрининг и выделение азотфиксирующих бактерий, обладающих фунгицидными и фитостимулирующими свойствами, из деградированных почвенных экосистем Астраханской области. Выявляя и характеризуя эти бактерии, исследователи стремятся внести вклад в разработку устойчивых методов ведения сельского хозяйства, таких как применение биоудобрений.

В задачи исследования входит:

- Обеспечение решения проблем деградации почв и повышение продуктивности сельского хозяйства в Астраханской области.
- Идентификация азотфиксирующих бактерий, обладающих фунгицидными и фитостимулирующими свойствами.
- Разработка естественных и устойчивых решений для восстановления плодородия почв, повышения урожайности сельскохозяйственных культур и их устойчивости к болезням.

Материалы и методы

Материалами исследований являются изоляты азотфиксирующих микроорганизмов. Для опытов использовали трехсуточную суспензию антагонистов, выращенную на бобовом агаре при температуре 28 °С.

Объекты исследования — 6 изолятов азотфиксирующих микроорганизмов, выделенных из 23 засоленных почвенных образцов Наримановского и Трусовского районов Астраханской области.

Для выявления и количественного учета эколого-трофических групп микроорганизмов методом предельных разведений проводили посев на плотные питательные среды: ГРМ-агар, среда Эшби, среда Чапека. Выращивание культур проходило в течение 3 суток при $t = 28^{\circ}\text{C}$ в термостате ТС-1/80 СПУ.

На первом этапе для отбора активных изолятов с фитостимулирующими свойствами определяли фитотоксичность суспензии изолятов азотфиксирующих микроорганизмов в лабораторных опытах на семенах томата Новичок (*Solanum lycopersicum*)

Фитотоксичность суспензии и экстрактов отобранных активных изолятов азотфиксирующих микроорганизмов исследовали методом ингибирования роста корня редиса Хелро (*Rarhanus sativus*) при 20°С в течение 3 суток в двух концентрациях: 0,5 мг/мл и 1 мг/мл.

Для приготовления газона грибов использовали фитопатогенные грибы возрастом от 14 до 28 суток, растущие на бобовом агаре. Стерильным пробочным сверлом сделали 4 лунки-отверстия по периферии чашки Петри, в которые заливали 0,1 мл суспензии штамма для определения фунгицидной активности; в центре сделали лунку, в которую поместили 0,1 мл стерильной воды (контроль).

Исследовали 3х-суточную суспензию антагонистов, выращенную на бобовом агаре при температуре 28 °С. Фунгицидные свойства оценивали на 3–5 сутки по диаметру зон ингибирования роста грибов вокруг лунок.

Результаты и обсуждение

Наибольший процент обрастания комочков 60 % обнаружен в образце № 11 (глубина 20–40 см). В связи с этим, несмотря на рост микроорганизмов, почва является токсичной для растений. Максимального обрастания комочков не выявлено ни в одном из образцов, что говорит о той или иной степени токсичности среды.

Результаты посевов не показали наличие зависимости количества азотфиксирующей микрофлоры от концентрации солей в почвенных образцах: в сильно засоленных образцах, наблюдалось либо отсутствие, либо их среднее и максимальное число. Не наблюдается статистически значимого перехода между общим содержанием солей и долей обросших слизистыми колониями комочков почвы.

Максимальное процентное содержание азотфиксирующих микроорганизмов выявлено в образцах почв (№ 2, 9, 11, 12, 15, 18) с очень сильной степенью засоления — 32–60 %, кроме образца № 2, со средней степенью засоления. В результате культивирования почвенных комочков рост азотфиксирующих микроорганизмов выявлен в 18 из 23 почвенных образцов. Очистить от микромикетных и бактериальных симбионтов удалось 6 изолятов азотфиксирующих микроорганизмов.

Изоляты азотфиксирующих микроорганизмов проявляли фунгицидную активность в отношении исследуемых тест-культур фитопатогенных микромицетов.

Наибольшие значения всхожести в отношении томата и редиса представлены в варианте с обработкой суспензией изолята А11 (84 % и 79 %, соответственно). Наименьшая всхожесть данных растений установлена у изолята А20 и составила у томата 49 %, у редиса — 33 %. Всхожесть томата в остальных вариантах опыта колебалась от 62 % до 80 %. Всхожесть редиса варьировалась от 64 % до 73 %. Определение биомассы проростков показало, что максимальные показатели данного значения в отношении томата (0,12 г) и редиса (0,30 г) представлены в варианте с обработкой суспензией изолята А11, что совпадает с высокой биологической активностью при изучении всхожести данного изолята. Наименьшая всхожесть данных растений установлена у изолята А20 (томат — 0,02 г, редис — 0,13 г). Биомасса проростков в остальных вариантах опыта колебалась от 0,03 г до 0,05. Биомасса редиса варьировалась от 0,18 г до 0,24 г.

Исследованы культурально-морфологические свойства отобранных изолятов. Изоляты азотфиксирующих бактерий с высокой биологической активностью (А1, А2, А11, А18, А20, А22) помещены в коллекцию микроорганизмов сельскохозяйственного назначения лаборатории «Биотехнология, микробиология и почвоведение».

Заключение

Проведенные нами исследования подтвердили высокую значимость скрининга азотфиксирующих бактерий с фунгицидными и фитостимулирующими свойствами из деградированных почвенных экосистем. Учитывая

высокую степень полиморфизма азотфиксирующих микроорганизмов, представляется необходимым дальнейшее исследование биологической активности изолятов данных культур, выделенных из аридных почвенных экосистем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виссарионович В.Г., Михайлова С.Е. Проблемы деградации земель на территории Астраханской области // Авангард молодежной науки. 2022. Vol. 502.1. P. 121–134.
2. Bano A. et al. Phytostimulants in sustainable agriculture // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2022. Vol. 6.
3. Bertrand J.C. Biogeochemical Cycles // *Environmental Microbiology: Fundamentals and Applications*. Springer Netherlands. 2015. P. 511–617.
4. Grigoryan L.N., Bataeva Y.V., Shaheen M., Novichenko O.V., Fedotova A.V., Yakovleva L.V. Phytotoxicity and antioxidant activity of actinomycetes in soil ecosystems // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2023. V. 1229 (1):012036. P. 1–7.
5. Högberg P. et al. Tamm Review: On the nature of the nitrogen limitation to plant growth in Fennoscandian boreal forests // *Forest Ecology and Management*. 2017. Vol. 403. P. 161–185.
6. Jhariya R.A., Yadav M.K., Banerjee D.K., Meena R.S. Soil for sustainable environment and ecosystems management // *Sustainable agriculture, forest and environmental management*, 2019. P. 189–221.
7. Karlen D., Rice C. Soil Degradation: Will Humankind Ever Learn? // *Sustainability*. MDPI AG, 2015. Vol. 7, № 9. P. 12490–12501.
8. Kumar A., Meena V.S. *Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Agricultural Sustainability*. Berlin: Springer, 2019. Vol. 10.

© Григорян Лилит Норайровна (lilyagrigoryan90@mail.ru); Хаирова Екатерина Алексеевна (anikina.ekaterina199@gmail.com);

Русаков Александр Вячеславович (bumbiro-schepard@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ АКТИВОВ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ ПРИ НЕЧЕТКИХ ДАННЫХ

AN ALGORITHM FOR EVALUATING THE SECURITY OF INFORMATION ASSETS OF PASSENGER TRANSPORTATION BY RAIL WITH FUZZY DATA

**E. Belova
A. Glukhov
S. Kornienko
A. Glukhov**

Summary. The article considers a variant of constructing an algorithm for assessing the information security of passenger transportation assets, taking into account the relationship between information security indicators of information assets, which is based on a hierarchical fuzzy production model of assets. This approach makes it possible to assess the information security of automated control systems for passenger transportation using vector safety indicators and the possibility of conducting security assessments of critical business processes based on statistical data and expert assessments.

Keywords: information security, hierarchical model, critical processes, management system, computer attacks.

Белова Елена Ивановна
Аспирант, Петербургский государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I
elenabelovavm@yandex.ru

Глухов Александр Петрович
доктор технических наук, Петербургский
государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
arg606@yandex.ru

Корниенко Светлана Владимировна
кандидат технических наук, Петербургский
государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
sv.diass99@yandex.ru

Глухов Александр Александрович
директор программ по информационно-
телекоммуникационным системам,
АО «Научно-производственное объединение
«Критические информационные системы»
alexander.glukh0v@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрен вариант построения алгоритма оценивания информационной безопасности активов пассажирских перевозок, в основе которого лежит иерархическая нечетко-продукционная модель активов, а также учитываются взаимосвязи между показателями информационной безопасности информационных активов. Данный подход позволяет оценивать информационную безопасность АСУ пассажирских перевозок с использованием векторных показателей безопасности и возможностью проведения оценок безопасности критических бизнес-процессов на основе статистических данных и экспертных оценок.

Ключевые слова: информационная безопасность, иерархическая модель, критические процессы, система управления, компьютерные атаки.

Безопасность информационной инфраструктуры (ИИ) железнодорожного транспорта (ЖТ) в современных условиях непрерывного повышения интенсивности, разнообразия и результативности компьютерных атак (КА), определяется эффективностью и адекватностью реализуемых мер защиты информации на всех уровнях ИИ.

Деятельность по обеспечению информационной безопасности (ИБ) должна быть направлена на поддержание основных бизнес-процессов организаций ЖТ.

Рассмотрение процесса создания (совершенствования) системы обеспечения информационной безопасности (СОИБ) организаций ЖТ как одного из обеспечивающих процессов, обеспечивающего основные процессы предприятия дает возможность разработки СОИБ в тесной взаимосвязи с проектированием других бизнес-процессов, что увеличит их интегрированность, гибкость, сбалансированность и управляемость.

Со стороны государственных регуляторов в области ИБ осуществляется переход от оценок воздействий

компьютерных инцидентов (КИ) на такие свойства информации, как конфиденциальность, целостность и доступность, к оценкам влияния КИ на бизнес-процессы организаций [1,2].

Реализация такого перехода требует разработки соответствующего методического аппарата, в том числе порядка (алгоритма) оценивания информационной безопасности АСУ пассажирских перевозок (АСУ ПП) железнодорожного транспорта на уровне безопасности следующих информационных активов (ИА) пассажирских перевозок:

- бизнес — процессов (БП) ПП,
- функциональных задач (ФЗ), решаемых при обеспечении БП;
- программных модулей АСУ ПП, обеспечивающих решение этих задач,
- программно-технических комплексов АСУ ПП [3].

В работе [4] была предложена иерархическая модель показателей безопасности информационных активов пассажирских перевозок и соответствующая ей иерархическая нечетко-продукционная модель [5] оценивания безопасности ИА ПП железнодорожного транспорта (рисунок 1).

В представленной модели на нижнем уровне находятся продукционные правила (ПрПр) для оценивания показателей качества функционирования (ПКФ) программно-технических комплексов АСУ ПП (например: производительность, коэффициент готовности, количество нормально функционирующих в сети интернет-тер-

миналов продажи билетов и др.) в зависимости от компьютерных инцидентов в результате компьютерных атак.

В данных ПрПр условия (антецеденты) формируются на основе данных о компьютерных инцидентах, выводы (консеквенты) — значения ПКФ АСУ ПП.

На втором уровне — ПрПр для оценивания показателей безопасности программных модулей АСУ ПП (например: непротиворечивость данных нормативно-справочной информации (НСИ) для всего пассажирского комплекса (ПМ 1.1), полнота данных НСИ для всего пассажирского комплекса (ПМ 1.2); актуальность данных НСИ для всего пассажирского комплекса (ПМ 1.3); сохранность данных НСИ для всего пассажирского комплекса (ПМ.1.4) и другие.

Здесь антецеденты — значения ПКФ АСУ ПП, консеквенты — значения показателей безопасности модулей АСУ ПП.

На третьем уровне в ПрПр антецеденты — значения показателей безопасности модулей АСУ ПП, консеквенты — значения показателей выполнения функциональных задач (например: своевременность формирования данных о потребностях на перевозку (ПЗ 1.1), полнота формирования данных о потребностях на перевозку (ПЗ 1.2), достоверность формирования данных о потребностях на перевозку (ПЗ 1.3) другие.

На четвертом уровне антецедентами выступают значения показателей выполнения функциональных за-

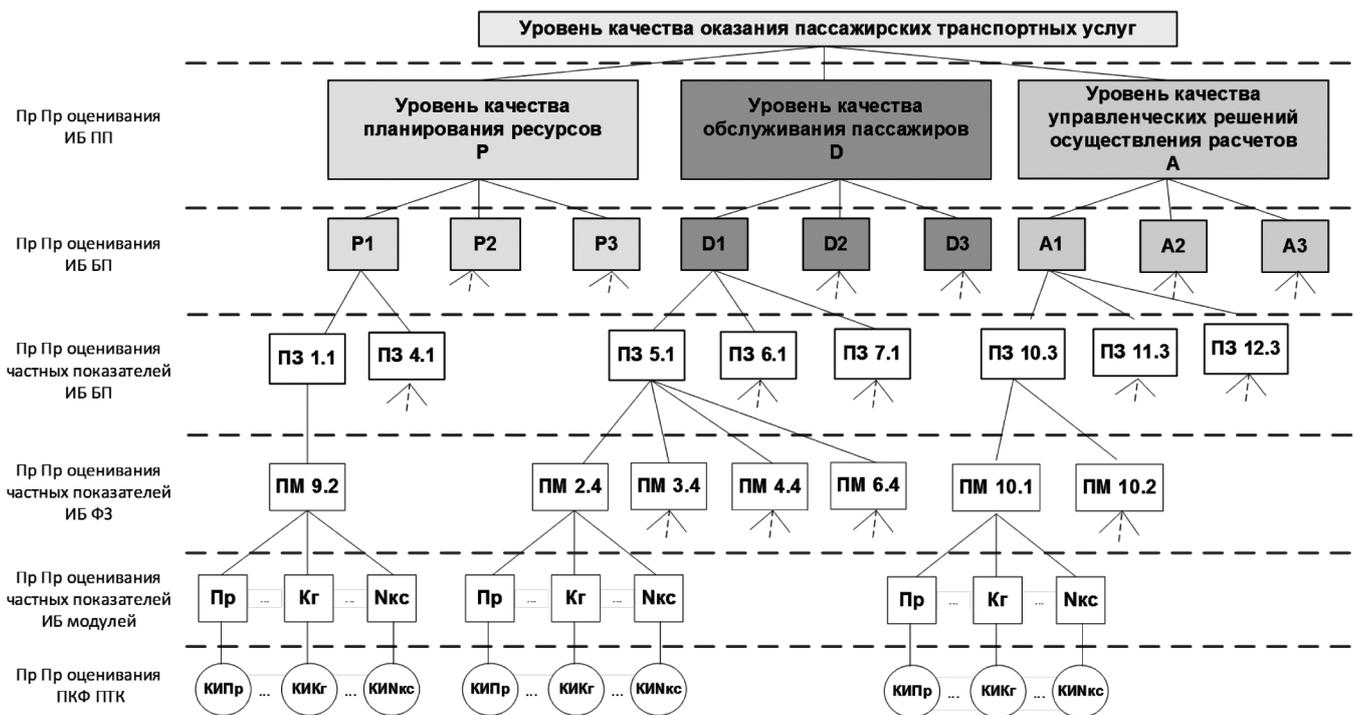


Рис. 1. Иерархическая модель нечетко-продукционных правил оценивания ИБ пассажирских перевозок

дач, а консеквентами значения частных показателей критических бизнес-процессов (например: количество отправленных пассажиров (D1), полнота данных, включающих информацию о поездах, тарифах, объектах сети и иной нормативно-справочной информации, необходимой для обслуживания пассажиров (D2), достоверность данных о номерах поездов возможности проезда на запрашиваемом маршруте, наличия мест в выбранных поездах, стоимости проезда (D3) и другие.

На пятом уровне в ПрПр antecedенты — значения показателей критических бизнес-процессов, консеквенты — значения показателей безопасности критических бизнес-процессов (уровень качества планирования ресурсов, уровень качества обслуживания пассажиров, уровень качества управленческих решений осуществления взаиморасчетов), определяющих в конечном итоге состояние интегрального показателя пассажирских перевозок — уровень качества оказания пассажирских транспортных услуг.

На рисунке 2 представлена блок-схема алгоритма оценивания информационной безопасности АСУ ПП по уровню безопасности критического бизнес-процесса.

Предлагается следующий порядок оценивания безопасности ИА ПП:

На Шаге 1 данного порядка производится формирование экспертной группы для определения нечетких множеств текущего состояния показателей информационной безопасности (ПБ) и формирования продукционных правил (ПрПр) для ПБ.

На Шаге 2 экспертами формируется исходный набор правил для каждого ПБ информационных активов пассажирских перевозок.

Шаг 3. Анализ и устранение противоречивых и избыточных правил.

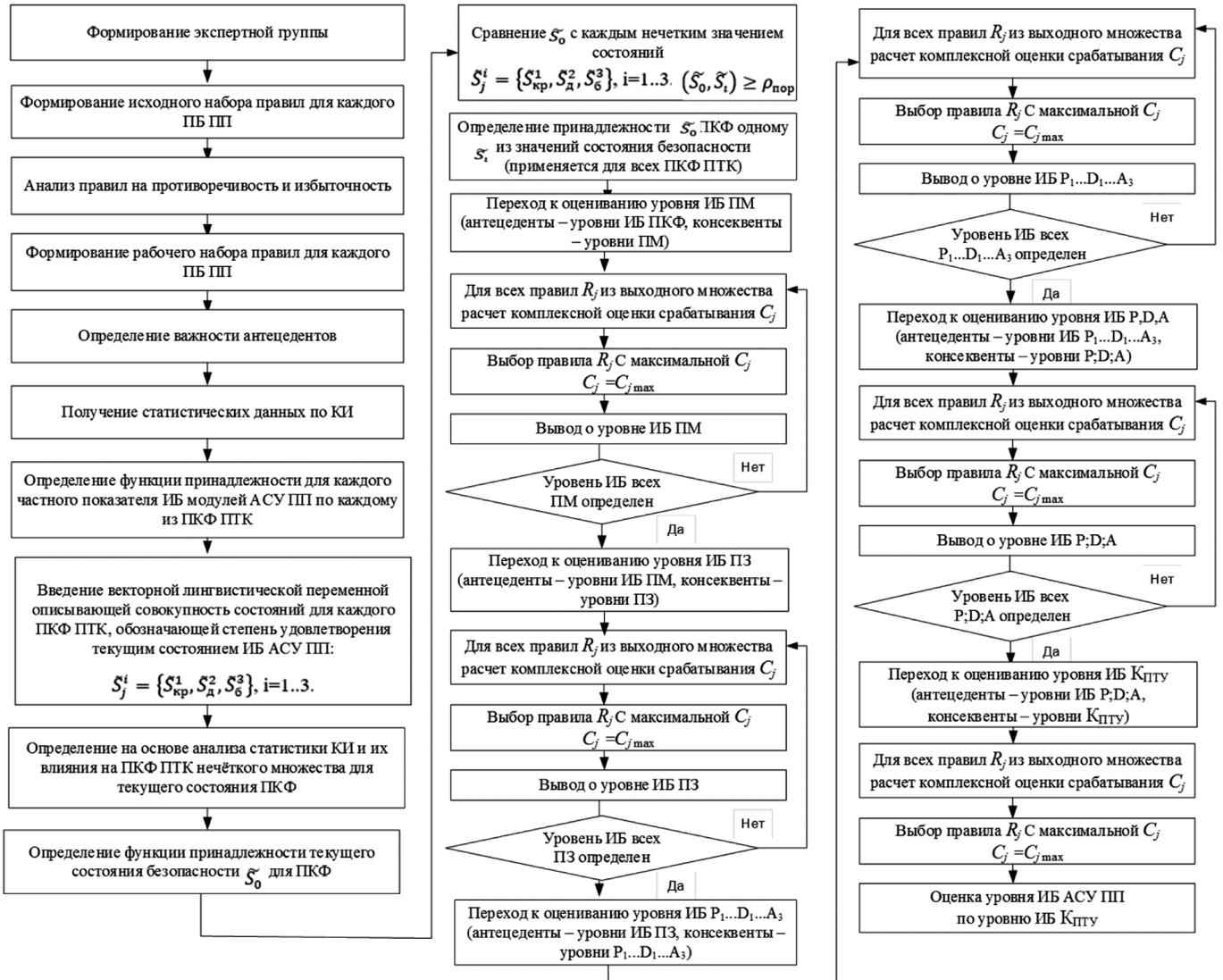


Рис. 2. Блок-схема алгоритма оценивания информационной безопасности АСУ ПП

Шаг 4. Формирование набора продукционных правил для каждого ПБ ПП иерархической модели.

Шаг 5. Определение важности ПБ в рамках введенных продукционных правил.

Шаг 6. Построение иерархической модели нечетко-продукционных правил оценивания ИБ пассажирских перевозок.

Шаг 7. Получение из систем мониторинга ИБ и ИТ - инфраструктуры статистических данных по компьютерным инцидентам (КИ), связанных с изменением (ухудшением) показателей качества функционирования программно-технических комплексов (ПКФ ПТК) АСУ ПП.

Шаг 8. Определение функции принадлежности для каждого частного показателя ИБ модулей ($i = 1..K_{ПМ}$) по каждому из ПКФ ПТК ($j_{ij} = 1..K_{ПКФ_{ij}}$).

Шаг 9. Введение векторной лингвистической переменной, описывающей совокупность состояний для каждого ПКФ ПТК в пределах $[ПКФ_{min_{ij}}; ПКФ_{max_{ij}}]$, обозначающей степень удовлетворения текущим состоянием информационной безопасности АСУ ПП. При пятиуровневом нечетком классификаторе «критическое» (К), «близкое к критическому» (БК), «допустимое» (Д), «близкое к безопасному» (ББ), «безопасное» (Б) рассматриваются пять соответствующих функций принадлежности $\{\tilde{S}_{кр}^1, \tilde{S}_{БК}^2, \tilde{S}_{Д}^3, \tilde{S}_{ББ}^4, \tilde{S}_{Б}^5\}$, $i=1..5$.

Шаг 10. Определение на основе статистики КИ и влияния на ПКФ_{ij} нечёткого множества для текущего состояния ПКФ_{ij}.

Шаг 11. Определение функции принадлежности текущего значения безопасности (\tilde{S}_0) для ПКФ_{ij}.

Шаг 12. Сравнение текущего значения (\tilde{S}_0) ПКФ_{ij} с каждым нечетким значением состояний $\{\tilde{S}_{кр}^1, \tilde{S}_{БК}^2, \tilde{S}_{Д}^3, \tilde{S}_{ББ}^4, \tilde{S}_{Б}^5\}$, $i=1..5$. путем расчета степени включения текущего состояния S_0 в состояние $\tilde{S}_j^i \{\tilde{S}_{кр}^1, \tilde{S}_{БК}^2, \tilde{S}_{Д}^3, \tilde{S}_{ББ}^4, \tilde{S}_{Б}^5\}$ и проверки ее соответствия порогу включения ситуаций ($0,6 \leq \rho \leq 1$), т.е. $(\tilde{S}_0, \tilde{S}_i) \geq \rho_{пор}$.

Шаг 13. Определяется принадлежность текущего состояния (\tilde{S}_0) ПКФ_{ij} одному из значений состояния безопасности (\tilde{S}_i). Снятие «нечеткости» с определения уровня текущей ситуации снимается. Шаг 13 применяется для всех ПКФ ПТК.

Шаг 14. Переход к оцениванию состояния ИБ частных показателей ИБ модулей АСУ ПП (ПМ_i) исходя из сформированных продукционных правил, где антецеденты —

уровни ИБ ПКФ_{ij}, а консеквенты — уровни ПМ_i.

Шаг 15. Для всех правил R_j из выходного множества производится расчет их комплексной оценки срабатывания C_j .

Шаг 16. Выбирается правило R_j с максимальной комплексной оценкой срабатывания $C_j = C_{jmax}$.

Шаг 17. Вывод о уровне ИБ частного показателя безопасности модуля АСУ ПП (ПМ_i).

Шаг 18. Выполнение шагов 15–17 для определения уровней ИБ всех частных показателей модулей АСУ ПП (ПМ_i).

Шаг 19. Переход к оцениванию состояния ИБ частных показателей функциональных задач АСУ ПП (ПЗ) исходя из сформированных продукционных правил, где антецеденты — уровни ИБ ПМ_i, а консеквенты — уровни ПЗ.

Шаг 20. Выполнение шагов 15–16 для определения уровня ИБ частного показателя функциональной задачи АСУ ПП.

Шаг 21. Вывод о уровне ИБ частного показателя безопасности функциональной задачи АСУ ПП.

Шаг 22. Выполнение шагов 20–21 для определения уровня ИБ всех частных показателей функциональных задач АСУ ПП (ПЗ).

Шаг 23. Переход к оцениванию состояния ИБ частных показателей бизнес-процессов АСУ ПП ($P_1, P_2, P_3; D_1, D_2, D_3; A_1, A_2, A_3$) исходя из сформированных продукционных правил, где антецеденты — уровни ИБ ПЗ, а консеквент — уровни частных показателей ИБ бизнес-процессов ($P_1, P_2, P_3; D_1, D_2, D_3; A_1, A_2, A_3$).

Шаг 24. Выполнение шагов 15–16 для определения уровня ИБ частного показателя бизнес-процесса.

Шаг 25. Вывод о уровне ИБ частного показателя безопасности бизнес-процесса АСУ ПП.

Шаг 26. Выполнение шагов 24–25 для определения уровня ИБ всех частных показателей бизнес-процессов АСУ ПП ($P_1, P_2, P_3; D_1, D_2, D_3; A_1, A_2, A_3$).

Шаг 27. Переход к оцениванию состояния ИБ показателей бизнес-процессов АСУ ПП ($P; D; A$) исходя из сформированных продукционных правил, где антецеденты — уровни ИБ $P_1, P_2, P_3; D_1, D_2, D_3$ и A_1, A_2, A_3 , а консеквент — уровни ИБ показателей бизнес-процессов ($P; D; A$).

Шаг 28. Выполнение шагов 15–16 для определения уровня ИБ показателя бизнес-процесса.

Шаг 29. Вывод о уровне ИБ показателя безопасности бизнес-процесса АСУ ПП.

Шаг 30. Выполнение шагов 28–29 для определения уровней ИБ всех показателей бизнес-процессов АСУ ПП (Р; D; А).

Шаг 31. Переход к оцениванию состояния ИБ «Уровня качества оказания пассажирских транспортных услуг» АСУ ПП ($K_{\text{ПТУ}}$) исходя из сформированных производственных правил, где antecedentes — уровни ИБ Р; D; А, а consequent — уровень ИБ $K_{\text{ПТУ}}$.

Шаг 32. Выполнение шагов 15–16 для определения уровня ИБ $K_{\text{ПТУ}}$.

Шаг 33. Вывод о уровне ИБ «Качество предоставления пассажирских транспортных услуг» ($K_{\text{ПТУ}}$) АСУ ПП.

Рассмотрим частный пример оценки ИБ АСУ ПП по уровню безопасности бизнес-процесса «Обслуживание пассажиров» по показателю «Количество отправленных пассажиров».

В случае, когда для показателя безопасности какого-либо информационного актива (ИА) возможно (например, экспертным путем) определить влияние основных показателей качества функционирования ПТК АСУ ПП, (производительность — Пр, коэффициент готовности — K_r , количество работоспособных каналов самообслуживания — $N_{\text{КС}}$), предлагается следующая нечеткая модель на основе определения функции принадлежности состояния ИА в зависимости от ПКФ, характеризующая плавное изменение ПБ ИА от «критического» состояния к «безопасному», представленная на рисунке 3 [6].

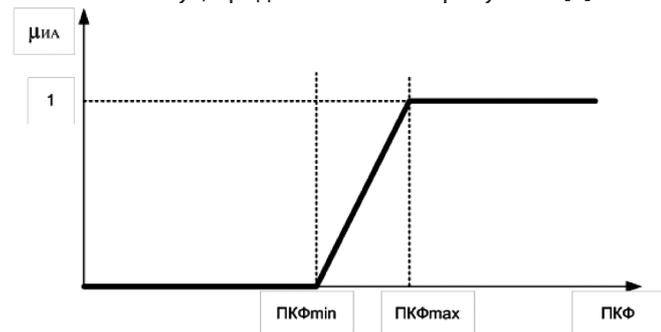


Рис. 3. Функция принадлежности для информационных активов и ПКФ ПТК ($\mu_{\text{иа}} = 1$ — безопасное состояние ИА, $\mu_{\text{иа}} = 0$ — критическое состояние ИА)

На основе анализа исходных данных, в которые входят:

- средняя стоимость билета;

- количество пассажиров, отправленных в дальнем следовании;
- доход от пассажирских перевозок;
- доля пассажиров, которые приобрели билеты через каналы самообслуживания;
- количество пассажиров, которые приобрели билеты через каналы самообслуживания;
- доход компании от продажи билетов через каналы самообслуживания;
- количество запросов через каналы самообслуживания на одно место;
- критический уровень недополучения доходов;
- критический уровень доходов от пассажирских перевозок пассажиров с билетами, приобретенными через каналы самообслуживания;
- минимально требуемое количество перевезенных пассажиров с билетами, приобретенными через каналы самообслуживания

можно определить максимальные и минимальные значения для основных ПКФ ПТК АСУ ПП, влияющих на информационную безопасность основного коммерческого показателя БП ПП - доход компании от ПП.

Допустим, например, что:

1. Производительность АСУ ПП в количестве запросов:
 - требуемая производительность в количестве запросов (Пр_{max}) — 16,8 млрд запросов/год;
 - минимальная производительность в количестве запросов (Пр_{min}) — 15,1 млрд запросов/год.

При оценивании ИБ учитывается текущая оценка экспертов, которая представлена на рис. 2 в виде функции принадлежности текущей ситуации. Для определения уровня безопасности ПБ необходимо сравнить текущее значение \tilde{S}_0 с каждым нечетким значением состояний:

$$\tilde{S}_j = \{ \tilde{S}_{\text{кр}}^1, \tilde{S}_{\text{бк}}^2, \tilde{S}_{\text{д}}^3, \tilde{S}_{\text{бб}}^4, \tilde{S}_{\text{б}}^5 \}, i=1..5.$$

Пример оценивания ИБ при заданных функциях принадлежности представлен ниже.

Оценим ИБ основного коммерческого показателя БП ПП — доход компании от ПП на ПКФ ПТК АСУ ПП «Производительность АСУ ПП в количестве запросов».

Пусть, например, $\mu_s(y_i) = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}$ — функция принадлежности лингвистической переменной y_i при $i=5$: y_1 — «критическое», y_2 — «близкое к критическому», y_3 — «допустимое», y_4 — «близкое к безопасному», y_5 — «безопасное», \tilde{S}_0 — «текущее состояние» ПКФ ПТК АСУ ПП (Пр) по мнению экспертов.

Рассчитываем значения функций принадлежности для ПКФ ПТК АСУ ПП (Пр) (таблица 1).

Таблица 1.
Значения функций принадлежности

№ п/п	Функция принадлежности	
1	$\mu_K(\text{Пр}) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq \text{Пр} \leq 15,1; \\ \frac{15,56 - \text{Пр}}{15,56 - 15,1} & \text{при } 15,1 < \text{Пр} < 15,56; \\ 0 & \text{при } \text{Пр} \geq 15,56; \end{cases}$	
2	$\mu_{BK}(\text{Пр}) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq \text{Пр} \leq 15,1; \\ \frac{\text{Пр} - 15,1}{15,56 - 15,1} & \text{при } 15,1 \leq \text{Пр} \leq 15,56; \\ \frac{16 - \text{Пр}}{16 - 15,56} & \text{при } 15,56 < \text{Пр} \leq 16; \\ 0 & \text{при } \text{Пр} > 16; \end{cases}$	
3	$\mu_D(\text{Пр}) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq \text{Пр} \leq 15,56; \\ \frac{\text{Пр} - 15,56}{16 - 15,56} & \text{при } 15,56 \leq \text{Пр} \leq 16; \\ \frac{16,45 - \text{Пр}}{16,45 - 16} & \text{при } 16 < \text{Пр} \leq 16,45; \\ 0 & \text{при } \text{Пр} > 16,45; \end{cases}$	
4	$\mu_{BB}(\text{Пр}) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq \text{Пр} \leq 16; \\ \frac{\text{Пр} - 16}{16,45 - 16} & \text{при } 16 \leq \text{Пр} \leq 16,45; \\ \frac{16,8 - \text{Пр}}{16,8 - 16,45} & \text{при } 16,45 < \text{Пр} \leq 16,8; \\ 0 & \text{при } \text{Пр} > 16,8; \end{cases}$	

№ п/п	Функция принадлежности	
5	$\mu_B(\text{Пр}) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq \text{Пр} \leq 16,45; \\ \frac{\text{Пр} - 16,45}{16,8 - 16,45} & \text{при } 16,45 < \text{Пр} \leq 16,8; \\ 1 & \text{при } \text{Пр} > 16,8. \end{cases}$	

Результаты расчетов показали (рисунок 4), что функция принадлежности «текущего состояния» (\tilde{S}_0) (полученная по результатам обработки мнений экспертов) информационной безопасности ПКФ ПТК АСУ ПП «Производительность АСУ ПП в количестве запросов» (Пр) с учетом компьютерных инцидентов, влияющих на данный показатель, соответствует значению {15,56; 15,92; 16,27}.

Производим анализ состояния текущей ситуации и проверяем степень включения состояния \tilde{S}_0 в состояние \tilde{S}_{BK}^2 и \tilde{S}_D^3 : $v(\tilde{S}_0, \tilde{S}_{BK}^2) = 0,2 < \rho_{пор}$; $v(\tilde{S}_0, \tilde{S}_D^3) = 0,8 > \rho_{пор}$.

Таким образом, состояние \tilde{S}_0 нечетко включается в состояние \tilde{S}_D^3 , что соответствует «допустимому» состоянию.

Определим абсолютное и относительное расстояния Хемминга ρ_{AB} и σ_{AB} между $\mu_{тек}(\text{Пр}) - \mu_{BK}(\text{Пр})$ и $\mu_{тек}(\text{Пр}) - \mu_D(\text{Пр})$ (табл. 2).

В данном случае результаты расчётов показали, что минимум ФП $\mu_{тек}$ также соответствует «допустимому» состоянию.

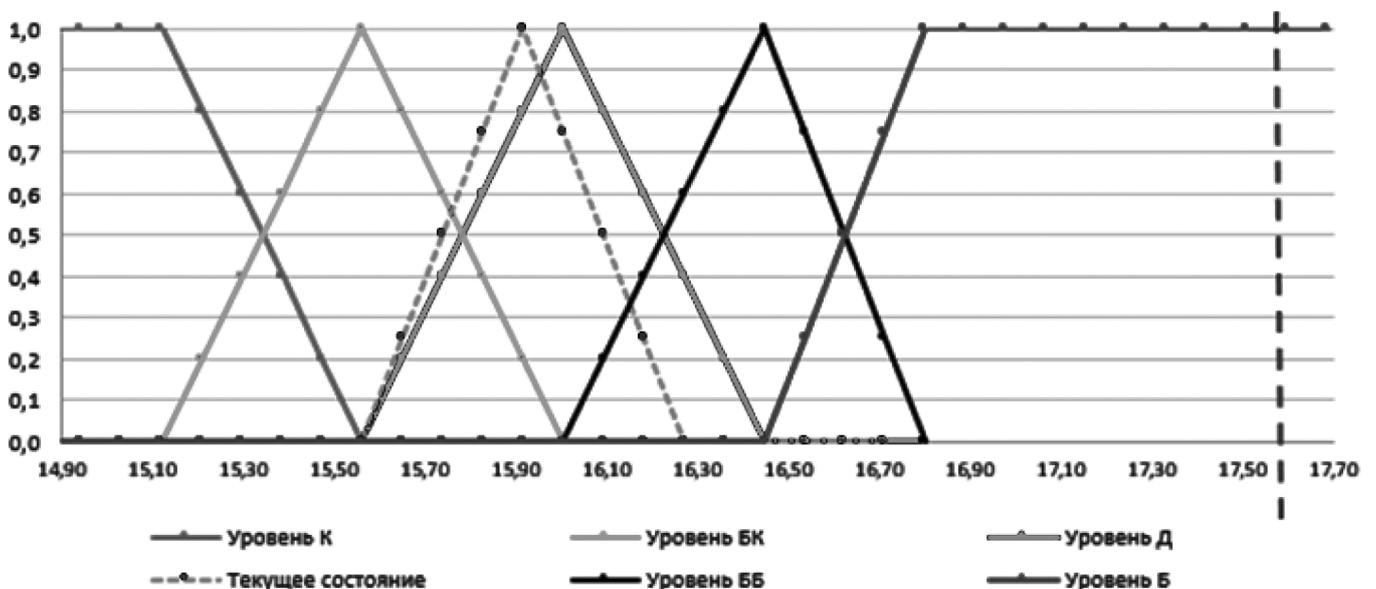


Рис. 4. Функции принадлежности для лингвистической переменной ПКФ ПТК АСУ ПП «Производительность АСУ ПП в количестве запросов» (Пр)

Таблица 2.
Результаты расчётов абсолютного и относительного расстояния Хемминга

	ρ_{AB}	σ_{AB}
$\mu_{\text{тек}}(\text{Пр}) - \mu_{\text{БК}}(\text{Пр})$	6,30	0,23
$\mu_{\text{тек}}(\text{Пр}) - \mu_{\text{Д}}(\text{Пр})$	2,00	0,07

Аналогичным образом проводятся расчеты для ПКФ $N_{\text{кс}}$ и K_r , что в итоге позволит выполнить векторную оценку показателя безопасности информационного актива.

Предлагаемый порядок оценивания информационной безопасности информационных активов пассажирских перевозок и нечетко определенных параметров может быть использован в системе управления информационной безопасностью железнодорожного транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глухов А.П., Корниенко А.А., Белова Е.И. Подход к оцениванию информационной безопасности автоматизированных систем управления пассажирским перевозками железнодорожного транспорта // Двойные технологии. — 2023. — №1 (102). — С. 71–77.
2. Глухов А.П., Корниенко А.А., Ададулов С.Е., Белова Е.И. Оценивание информационной безопасности бизнес-процессов // Автоматика, связь, информатика. — 2023. — №7. — С. 17–20.
3. Белова, Е.И. Модели и алгоритмы оценивания информационной безопасности автоматизированной системы управления пассажирскими перевозками железнодорожного транспорта / Е.И. Белова // Двойные технологии. — 2023. — № 2. — С.48–54.
4. Белова Е.И., Корниенко С.В., Глухов А.П. Иерархическая нечетко-продукционная модель оценивания безопасности информационных активов пассажирских перевозок // В сборнике: Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения. Материалы национальной (с международным участием) научно-практической конференции. Казань. — 2024. — С. 1240–1244.
5. Катасев А.С., Емалетдинова Л.Ю. Нечетко-продукционная каскадная модель диагностики состояния сложного объекта // Программные системы и вычислительные методы. — 2013. — № 1(2). — С. 69–81.
6. Долженко А.И. Оценка нефункциональных характеристик качества информационной системы на основе теории нечетких чисел // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Приложение. — 2006. — №8. — С. 3–9.
7. Глухов А.П. Подходы к управлению информационной безопасностью в ОАО «РЖД» и модель ситуационного управления в нечеткой среде // Естественные и технические науки. — 2015. — № 9(87). — С. 127–136.

© Белова Елена Ивановна (elenabelovavm@yandex.ru); Глухов Александр Петрович (apg606@yandex.ru);
Корниенко Светлана Владимировна (sv.diass99@yandex.ru); Глухов Александр Александрович (alexander.glukh0v@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

К ИССЛЕДОВАНИЮ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ С КОМБИНИРОВАННЫМ ЧАСТОТНО-ФАЗОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

TOWARDS THE STUDY OF THE DYNAMICS OF A SYSTEM WITH COMBINED FREQUENCY-PHASE CONTROL

**A. Besklubnaya
E. Bondar'**

Summary. It is known that practical needs in developing a method for rapid restructuring of self-oscillating systems based on the use of information on the phase-frequency properties of their oscillations dictate the need to develop techniques for qualitative and numerical modeling of the dynamics of the corresponding control systems. At the same time, the control system should not only be simple to implement technically, but also close to the optimal control strategy. In this paper, using the example of studying the dynamics of a system with frequency-phase control, a method for constructing a mathematical model based on the application of the point mapping method is considered. The point mapping method makes it possible not only to use a piecewise constant form of the control signal, but also allows one to analyze the mechanism of interaction between phase and frequency control. As a result, the state space of the system consists of three main subspaces and two subspaces of transient motions, in each of which the behavior of phase trajectories is determined by equations with a constant structure. Due to the fundamental nonlinearity of processes in the system, the development of a procedure for their modeling is relevant. And especially important is the modeling of the process of transition from the phase control mode to the frequency control mode.

Keywords: mathematical modeling, system dynamics, synchronization system, combined pulse-width modulation of the control signal.

Бесklubная Антонина Вячеславовна

кандидат педагогических наук,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный
архитектурно-строительный университет»
antbesk@gmail.com

Бондарь Елена Александровна

кандидат физико-математических наук,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный
архитектурно-строительный университет»
bonde28@ya.ru

Аннотация. Известно, что практические потребности в разработке способа быстрой перестройки автоколебательных систем на основе использования информации о фазо-частотных свойствах их колебаний диктует необходимость развития приемов качественно-численного моделирования динамики соответствующих систем управления. При этом система управления должна не только обладать простотой технической реализации, но и близостью к стратегии оптимального управления. В настоящей работе на примере исследования динамики системы с частотно-фазовым управлением рассматривается методика построения математической модели, основанная на применении метода точечных отображений. Метод точечных отображений дает возможность не только использовать кусочно-постоянную форму сигнала управления, но и позволяет проанализировать механизм взаимодействия фазового и частотного управления. В результате пространство состояний системы состоит из трех основных подпространств и двух подпространств переходных движений, в каждом из которых поведение фазовых траекторий определяется уравнениями с постоянной структурой. Вследствие принципиальной нелинейности процессов в системе, разработка процедуры их моделирования является актуальной. И особенно важным является моделирование процесса перехода от режима фазового управления к режиму частотного управления.

Ключевые слова: математическое моделирование, динамика системы, система синхронизации, комбинированная широтно-импульсная модуляция управляющего сигнала.

Введение

Известно, что в основе практически важной прикладной задачи реализации надежной радиосвязи [1,2] лежит использование управляемых синтезаторов частот (СЧ) [3], построенных на базе импульсных систем фазовой синхронизации. В таких системах используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ) управляющего сигнала и поэтому их математи-

ческие модели (ММ) являются частным случаем систем с переменной структурой (СПС), порядок смены дифференциальных уравнений в которых определяется динамическими свойствами фазовых траекторий движения и реализуется в моменты переключения управляющих импульсов [4]. Именно в силу этого обстоятельства изучение динамики ММ таких СЧ осуществляется на основе применения метода точечных отображений [5].

В настоящей работе излагаются основные моменты применения указанной методики к исследованию динамики системы синхронизации с комбинированной широтно-импульсной модуляцией управляющего сигнала. В качестве базовой модели используется синтезатор частоты (СЧ) с комбинированным импульсным частотно-фазовым детектором (КИЧФД) [3, с.28]. Такой СЧ объединяет в себе принцип управления по числу импульсов (частотное детектирование (ЧД)) и принцип управления по временному рассогласованию (импульсное фазовое детектирование (ИФД)) двух соседних во времени импульсов, а именно: импульса синхронизирующего опорного сигнала (ОС) и выходного импульса счетчика (С) числа периодов подстраиваемого генератора (ПГ). Фазовое управление функционирует в случае, если импульсы ОС чередуются во времени с выходными импульсами С. Частотное управление включается, если процесс чередования импульсов ОС и С нарушается. При появлении во времени подряд двух или более импульсов С принудительно устанавливается минимально возможное значение сигнала управления, а при появлении во времени подряд двух или более импульсов ОС — его максимально возможное значение.

Вследствие принципиальной нелинейности процессов в системе в режиме фазового управления [6], разработка процедуры моделирования процесса перехода от режима фазового управления к режиму частотного управления, необходимая для построения математической модели в целом, является актуальной.

Математическая модель системы, построенная на основе метода точечных отображений

Сущность использования метода точечных отображений для изучения динамики СЧ с КИЧФД [5] состоит в использовании для рассмотрения динамики СЧ фазовых подпространств, соответствующих постоянству структуры дифференциального уравнения

$$\alpha(d\theta / d\tau) = g(u(\tau)) \quad (0 \leq \tau \leq 1, 0 \leq \theta \leq 1), \quad (1)$$

описывающего процесс заполнения счетных декад С. Уравнение (1) определено на единичном отрезке безразмерного времени τ , равном периоду ОС; θ — безразмерная, нормированная на единицу, координата С, причем после заполнения С при $\theta = 1$ происходит мгновенный сброс на значение, $\theta = 0$ и при этом на выходе С появляется управляющий импульс; α — безразмерный показатель С, причем значение $\alpha = 1$ соответствует неуправляемому ПГ, когда $u(\tau) = 0$; $g(u) = 1 + Su$ — линейная характеристика ПГ с крутизной $S > 0$.

Согласно логике работы КИЧФД режим частотного детектирования (ЧД) с минимально возможным значением $u(\tau) = \underline{u}$ включается в режиме импульсно-фазово-

го детектирования (ИФД) при появлении повторного импульса С, а с максимальным значением $u(\tau) = \bar{u}$ — при появлении повторного импульса ОС. При чередовании импульсов С и ОС в режиме ФД, ближайший приходящий во времени импульс ОС запускает генератор пилообразного напряжения так, что на его выходе появляется сигнал управления

$$u(\tau) = (\bar{u} - \underline{u})\tau + \underline{u} \quad (0 \leq \tau \leq 1). \quad (2)$$

При использовании импульсного фазового детектора типа «выборка-запоминание» $u(\tau) = u(\tau_0) = \text{const}$, где τ_0 — момент прихода импульса С. Поскольку в режимах ЧД и ИФД структура уравнения (1) неизменна, можно считать, что при $u(\tau) = \underline{u}$ уравнение (1) определено в подпространстве Π_1 , при $u(\tau) = \bar{u}$ — в подпространстве Π_3 и в режиме ИФД с $u(\tau)$, определяемой выражением (2) — в подпространстве Π_2 .

Фазовое подпространство Π_2 , в котором определено уравнение (1) при условии (2) есть развертка фазового тора. Изображающая точка движения (ИТД) начинает свое движение в Π_2 при $\theta = 0$ с фазовым положением $\tau = \tau_0$ и подчиняется уравнению фазовой траектории

$$\theta(\tau) = (g(x_0)) / \alpha(\tau - \tau_0) \quad (\tau_0 \leq \tau \leq \bar{\tau}), \quad (3)$$

и при увеличении τ может достигнуть либо границы $\theta = 1$, либо границы $\tau = 1$ подпространства Π_2 .

Достижение ИТД границы $\theta = 1$ [7] означает появление при $\tau = \bar{\tau} < 1$ повторного импульса С, что переводит ИТД в подпространство Π_1 частотного управления с понижением частоты ПГ при $u = \underline{u}$. При этом состояние $\theta = 1, \tau = \bar{\tau} < 1$ подпространства Π_2 переходит в начальное состояние движения в Π_2 порождая отображение

$$T_{21}: \quad \bar{\tau} = \tau_0 + (\alpha / g(u(\tau_0))), \quad (4)$$

где $\alpha < \alpha_1(\tau_0) = g(u(\tau_0)) / \alpha(1 - \tau_0) \quad (0 \leq \tau \leq 1)$.

Достижение ИТД границы $\tau = 1$ подпространства Π_2 [7,8] означает появление повторного импульса ОС, сброс фазовой координаты θ со значения $\tau = 1$ на значение $\tau = 0$ и переход к дальнейшему рассмотрению динамики движения в следующем периоде ОС. Если в течение этого второго периода ИТД вновь приходит на границу $\tau = 1$, то это означает появление повторного импульса ОС, что переводит ИТД в пространство Π_3 частотного управления с повышением частоты ПГ при $u = \bar{u}$. При этом состояние $\theta = \bar{\theta}, \tau = 1$ подпространства Π_2 переходит в начальное состояние $\theta = \bar{\theta}, \tau = 0$ движения в Π_3 , порождая отображение

$$T_{23}: \quad \bar{\theta} = (1 / \alpha)g(u(\tau_0))(2 - \tau_0), \quad (5)$$

где $\alpha > \alpha_2(\tau_0) = g(u(\tau_0)) / \alpha(2 - \tau_0)$ ($0 \leq \tau \leq 1$)..

Если в течение указанного выше второго периода ОС ИТД приходит на границу $\theta = 1$, то реализуется режим чередования импульсов С и ОС, и СЧ остается в режиме фазового управления. При этом порождается отображение

$$T_{22}: \begin{cases} \bar{\tau} = \tau_0 + (\alpha / g(u(\tau_0))) - 1 \\ (\tau_0, \bar{\tau} \in \Pi_2, \alpha_1(\tau_0) < \alpha < \alpha_2(\tau_0)). \end{cases} \quad (6)$$

Анализ свойств фазовых траекторий с начальными условиями $\theta = 0, \tau = 0$ в Π_1 показывает, что ИТД может оставаться в Π_1 , порождая отображение

$$T_{11}: \begin{cases} \bar{\tau} = \tau_0 + (\alpha / \underline{\alpha}) - 1 \\ (0 \leq \tau_0 \leq 2 - \alpha / \underline{\alpha}, \underline{\alpha} < \alpha < 2\alpha), \end{cases} \quad (7)$$

где $\underline{\alpha} = g(\underline{u}), \bar{\alpha} = g(\bar{u})$, а может переходить в подпространство Π_2 в соответствии с отображением

$$T_{12}: \begin{cases} \bar{\tau} = \tau_0 + (\alpha / \underline{\alpha}) - \bar{m}, \\ \left(\begin{array}{l} 2 - \alpha / \underline{\alpha} \leq \tau_0 < 1, \underline{\alpha} < \alpha < 2\underline{\alpha}; \\ \bar{m} = E[\tau_0 + (\alpha / \underline{\alpha})], 0 \leq \tau_0 < 1, \alpha \geq 2\underline{\alpha} \end{array} \right) \end{cases} \quad (8)$$

где E — знак взятия целой части, а $\bar{m} \geq 2$.

Аналогичная ситуация имеет место в подпространстве Π_3 , а именно ИТД может оставаться в подпространстве Π_3 , порождая отображение

$$T_{33}: \begin{cases} \bar{\theta} = \theta_0 - (\bar{\alpha} / \alpha) \\ (0 \leq \theta_0 \leq 2 - \bar{\alpha} / \alpha, \bar{\alpha} / 2 < \alpha < \bar{\alpha}), \end{cases} \quad (9)$$

и переходить в подпространство Π_2 в соответствии с отображением

$$T_{32}: \begin{cases} \bar{\tau} = (\alpha / \bar{\alpha})(1 - \theta_0 + E[\theta_0 + (\bar{\alpha} / \alpha)]) - 1 \\ \left(\begin{array}{l} 2 - \bar{\alpha} / \alpha \leq \theta_0 \leq 1, (\bar{\alpha} / 2) < \alpha < \bar{\alpha}; \\ 0 \leq \theta_0 \leq 1, \alpha < (\bar{\alpha} / 2) \end{array} \right). \end{cases} \quad (10)$$

Качественное исследование поведения системы

Отображение T_{22} , определяющее динамику СЧ в режиме ИФД, имеет единственную неподвижную точку. Подставляя в (6) условие $\tau_0 = \bar{\tau} = \tau^*$, находим, что для линейной характеристики ПГ

$$\alpha = \alpha(\tau^*) = g(u(\tau^*)) = 1 - S[(\bar{u} - \underline{u})\tau^* + \underline{u}]. \quad (11)$$

График функции $\alpha = \alpha(\tau^*)$ (11) удовлетворяет при $0 \leq \tau^* \leq 1$ системе неравенств $\alpha_1(\tau^*) < \alpha < \alpha_2(\tau^*)$ и, следовательно, неподвижная точка $\tau_0 = \tau^*$ существует во всей полосе удержания, т.е. при $\underline{\alpha} < \alpha < \bar{\alpha}$.

Неравенства $\tau^* > 0, \tau^* < 1$ и $g(\underline{u}) > 0$ определяют на плоскости α, S треугольную область существования синхронного режима и невырожденности ($g(\underline{u}) > 0$) характеристики ПГ

$$0 < \frac{1 - \alpha}{|\underline{u}|}, \frac{1 - \alpha}{\bar{u}} < S < \frac{1}{|\underline{u}|} \quad (\underline{u} < 0, \bar{u} > 0). \quad (12)$$

Из вида ФП (6) следует, что условие устойчивости неподвижной точки $\tau_0 = \tau^* |d\bar{\tau} / d\tau_0(\tau_0 = \tau^*)| < 1$ нарушается на границе

$$N_- : S = 2\alpha / (\bar{u} - \underline{u}), \quad (13)$$

которая отсекает от треугольной области существования (12) ее левую верхнюю часть (в сторону уменьшения α и увеличения S). Тем самым определена область существования и устойчивости в «малом» неподвижной точке $\tau_0 = \tau^*$ в режиме ИФД [7].

Непосредственно из вида функций последования (7), (9) следует, что ИТД при любых значениях параметров уходит из подпространств Π_1 и Π_3 в Π_2 . Таким образом для ответа на вопрос об устойчивости τ^* «в большом» необходимо рассмотреть вопрос об устойчивости циклов отображений $T_{32}T_{23}$ и $T_{12}T_{21}$.

Несложный анализ функций последования (ФП) показал, что при $\underline{\alpha} \leq \alpha \leq \bar{\alpha}, 2\alpha$ график ФП T_{22} определен при всех $0 \leq \tau_0 \leq 1$ (рисунок 1). На границе $\alpha = 2\underline{\alpha}$ ФП T_{22} при $\tau_0 = 1$ равна единице, а при переходе через границу в сторону больших значений S становится определенной в интервале $\tau_{0-} \leq \tau_0 \leq 1$, где $\bar{\tau}(\tau_{0-}) = 1$. При этом в интервале $\tau_{0-} \leq \tau_0 \leq 1$ определена ФП T_{23} , так что итоговый график ФП подпространства Π_2 в себя в интервале соответствует произведению $T_{32}T_{23}$. В силу этого для рассмотрения условий глобальной устойчивости неподвижной точки τ^* отображения T_{22} в этом случае необходимо исследовать характер графика ФП отображения $T_{32}T_{23}$.

При одновременном выполнении неравенств $\bar{\alpha} / 2 < \alpha < \bar{\alpha}, \theta_{01} > 2\underline{\alpha} / \alpha$, где $\theta_{01} = 2 - (\bar{\alpha} / \alpha)$, соответствующий вид графиков ФП отображения подпространства Π_2 в себя приведен на рисунке 2. На рисунке 2 использовано обозначение $\tau_{23} = T_{23}^{-1}\theta_{01}$. Количество периодов графика ФП в интервале $0 \leq \tau_0 \leq \tau_{0-}$ увеличивается по мере приближения графика ФП T_{32} к биссектрисе и при $\alpha \rightarrow \bar{\alpha} - 0$ неограниченно возрастает. При этом график ФП $T_{32}T_{23}$ поднимается вверх, уменьшаясь по амплитуде при $\tau_{23} \rightarrow 1$. При $\theta_{01} = 2\underline{\alpha} / \alpha \cdot \tau_{23} = 0$ и на рисунке 2 пилообразность графика ФП $T_{32}T_{23}$ исчезает, так что остается один ниспадающий участок.

При $\alpha \rightarrow \bar{\alpha} / 2 + 0, \theta_{01} \rightarrow 0$ график ФП стягивается в точку $\theta_{01} = 0, \bar{\theta} = 1$, правый конец графика T_{32} опускается

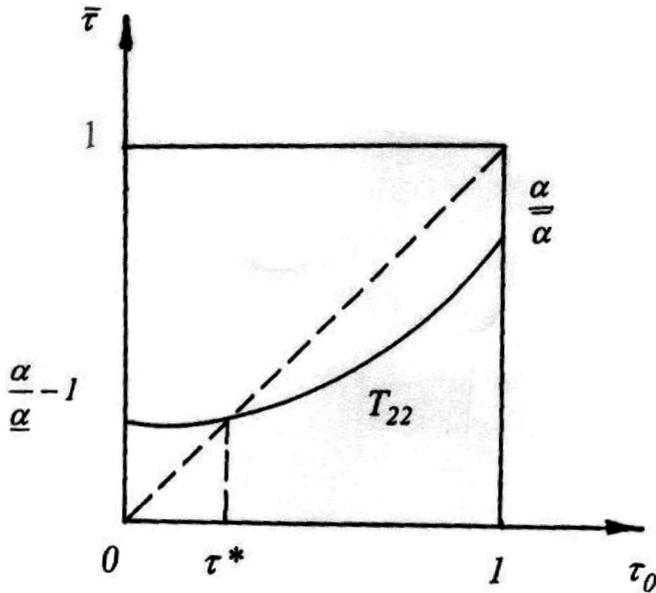


Рис. 1. График ФП T_{22} , при $\underline{\alpha} \leq \alpha \leq \bar{\alpha}, 2\underline{\alpha}$

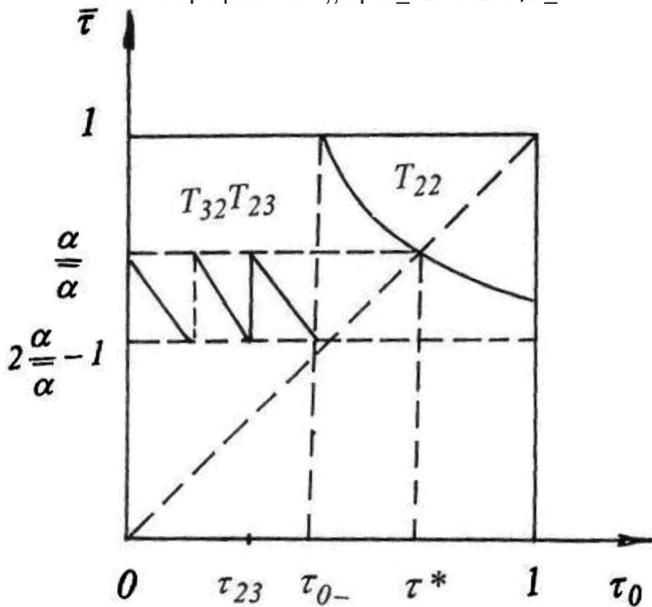


Рис. 2. Вид графиков ФП отображения подпространства Π_2 в себя при $\bar{\alpha} / 2 < \alpha < \bar{\alpha}$

ется до нуля, а единственный ниспадающий участок графика ФП $T_{32}T_{23}$ пересекает биссектрису $\bar{\tau} = \tau_0$ в левом нижнем углу квадранта $\tau_0, \bar{\tau} > 0$, доказывая тем самым возможность существования неподвижной точки τ^{**} цикла $T_{32}T_{23}$, отличной от неподвижной точки τ^* отображения T_{22} .

То есть при указанном подходе представляется возможность убедиться, что отображение T_{32} играет роль ловушки, из которой величина $\bar{\tau}$ ИТД поступает в интервал определения отображения T_{22} . Таким образом, можно качественно сформировать графики ФП в квадранте $\tau_0, \bar{\tau} > 0$. При этом в интервале $\tau_{0-} \leq \tau_0 \leq 1$ представлен график отображения T_{22} , а в интервале $0 \leq \tau_0 \leq \tau_{0-}$

сформированный график произведения $T_{32}T_{23}$, т.е. предоставляется возможность качественного исследования процессов в СЧ в «большом». Отметим, что график произведения указанных отображений напоминает собой неравномерную пилу, располагающуюся по высоте в диапазоне $(2\alpha / \bar{\alpha}) - 1 \leq \bar{\tau} \leq \alpha / \bar{\alpha}$. График ФП отображения T_{22} имеет монотонно убывающий характер и располагается при $\tau_{0-} \leq \tau_0 \leq 1$ в верхней части квадрата.

Непосредственно из рисунка графиков ФП видно, что если точка $(\tau_{0-}, 2\alpha / \bar{\alpha} - 1)$ лежит выше биссектрисы координатного угла $\tau_0, \bar{\tau} > 0$, то итерации с течением времени приводят в режим ИФД, обеспечивая глобальную устойчивость неподвижной точки отображения T_{22} . Если указанная точка лежит ниже биссектрисы, что реализуется при больших S , то произведение отображений $T_{32}T_{23}$ имеет неподвижную точку. Последнее может означать либо потерю глобальной устойчивости неподвижной точки $\tau_0 = \tau^*$ режима ИФД, либо увеличение длительности переходных процессов вследствие прохождения ИТД в окрестности неустойчивой неподвижной точки седлового типа [10].

Заметим, что границы существования неподвижной точки произведения отображений $T_{32}T_{23}$ определяются формулами

$$\begin{aligned} \theta^{**} &= g(u(\tau^{**}))(2 - \tau^{**}) / \alpha \\ \bar{\theta}^{**} &= \theta^{**} + \bar{\alpha} / \alpha - m_3^{**}, \quad m_3^{**} = E[\theta^{**} + \bar{\alpha} / \alpha], \\ \tau^{**} &= \alpha(1 - \bar{\theta}^{**}) / \bar{\alpha}, \\ \alpha &= g(u(\tau^{**}))(2 - \tau^{**}). \end{aligned} \quad (14)$$

Из (14) следует, что $\theta^{**} = 1$, а $\bar{\theta}^{**} = 1 + \bar{\alpha} / \alpha - m_3^{**}$. Но тогда при $\bar{\alpha} / 2 < \alpha < \bar{\alpha}$ и $E = 2$ систему (14) можно переписать в виде

$$\begin{aligned} \alpha &= \bar{\alpha}(1 + \tau^{**}) / 2, \\ \alpha &= g(u(\tau^{**}))(2 - \tau^{**}) \quad (0 \leq \tau^{**} \leq 1). \end{aligned} \quad (15)$$

Анализ поведения границы (15) позволяет сделать вывод, что в той части области удержания, где

$$1 + (2\underline{u} + \bar{u})S / 3 < \alpha < < 3(1 + S\bar{u})[(\bar{u} - 2\underline{u})S - 1] / [4S(\bar{u} - \underline{u})], \quad (16)$$

у цикла $T_{32}T_{23}$ существует неподвижная точка τ^{**} , причем $d\bar{\tau} / d\tau_0(\tau^{**}) < -1$, т.е. она всегда неустойчива [11, с. 91–96].

Аналогичный анализ поведения произведения отображений $T_{12}T_{21}$ дает возможность установить, что в области существования и устойчивости неподвижной точки $\tau_0 = \tau^*$ неподвижная точка цикла $T_{12}T_{21}$ не существует. А это обеспечивает для τ^* устойчивость «в большом» в области существования и устойчивости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахгильдян В.В., Пестряков А.В. Перспективные направления развития динамической теории дискретных систем фазовой синхронизации для устройств синтеза и стабилизации частот. // Электросвязь. — 1993. — № 11. — С.38–42.
2. Горюнов В.И., Палочкин Ю.П. К проблеме синтеза оптимального алгоритма адаптивного выбора рабочей частоты при реализации радиосвязи на множестве частот // LVI научная сессия, посвященная дню радио: Труды — М., 2001. — Т.2. — С.392–393.
3. Левин В.А., Малиновский В.Н., Романов С. К. Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. — М.: Радио и связь, 1989. — 232 с.
4. Антоновская О.Г., Бесклубная А.В. Построение математической модели синтезатора частоты с импульсным частотно-фазовым детектором, использующей фазовые подпространства. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. «Естественные и технические науки». — 2024. — № 8. — С. 61–66.
5. Неймарк Ю.И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний. — М.: Наука, 1972. — 472 с.
6. Горюнов В.И. К теории систем импульсно-фазовой автоподстройки частоты // Известия вузов. Приборостроение. — 1974. — № 10. — С. 40–43.
7. Антоновская О.Г., Горюнов В.И. Моделирование процесса склейки фазовых траекторий в системе с комбинированным частотно-фазовым управлением. // Известия института математики и информатики УдГУ. — 2015. — № 2(46). — С. 6–12.
8. Антоновская О.Г., Горюнов В.И. Метод точечных отображений в динамике системы с комбинированным частотно-фазовым управлением // X Всероссийская научная конференция «Нелинейные колебания механических систем». Сборник трудов. — 2016. — С. 51–57.
9. Антоновская О.Г., Журавлева Т.В. Математические методы в исследовании динамики системы с комбинированным частотно-фазовым управлением. // Тенденции развития науки и образования. — 2023. — № 2 (106). — Часть 9. — Самара: «LJournal». — С. 136–142.
10. Горюнов В.И., Ерусланов В.Н., Лобашов Н.И. Техническая полоса захвата одноконтурного синтезатора частоты // Техника средств связи. Сер ТРС. — 1990. — Вып.2. — С. 88–94.
11. Антоновская О.Г., Горюнов В.И. Разрывные точечные отображения и динамика синтезаторов частот (Об особенностях исследования математических моделей синтезаторов частот, содержащих малые параметры). — LAP (Lambert Academic Publishing). Гамбург, Германия, 2016. — 110 с.

© Бесклубная Антонина Вячеславовна (antbesk@gmail.com); Бондарь Елена Александровна (bonde28@ya.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МОНИТОРИНГ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ТЕЛЕФОННЫХ ПЕРЕГОВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАММА-РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

MONITORING THE DURATION OF TELEPHONE CONVERSATIONS USING ГАММА DISTRIBUTION

**K. Zubarev
G. Makarichev**

Summary. This work is devoted to the construction of a model based on the gamma distribution, which allows identifying abnormal patterns in the data on the duration of telephone calls, which may indicate the presence of spam activity. The study used telephone call data that had undergone preliminary filtering and processing. A histogram of relative frequencies was constructed for the data, and point estimates of the gamma distribution parameters were obtained based on the method of moments. An interval estimate of the gamma distribution parameters was also made. At the final stage of the study, a method for identifying spam activity was proposed, based on checking the compliance of the sample of telephone calls with the gamma distribution with parameters within the constructed confidence intervals.

Keywords: gamma distribution, method of moments, confidence intervals, Pearson criterion, phone calls, spam.

Зубарев Кирилл Михайлович

Старший преподаватель, Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана
zubarev.bmstu@mail.ru

Макаричев Георгий Олегович

Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана (Москва)
makarichevgo@student.bmstu.ru

Аннотация. Настоящая работа посвящена построению основанной на гамма-распределении модели, позволяющей выявлять в данных о продолжительности телефонных звонков аномальные паттерны, которые могут свидетельствовать о наличии спам-активности.

В рамках исследования использовались данные телефонных звонков, которые прошли предварительную фильтрацию и обработку. Для данных была построена гистограмма относительных частот, также были получены точечные оценки параметров гамма-распределения, основанные на методе моментов. Также была произведена интервальная оценка параметров гамма-распределения. На завершающем этапе исследования предложена методика выявления спам-активности, основанная на проверке соответствия выборки телефонных звонков гамма-распределению с параметрами в пределах построенных доверительных интервалов.

Ключевые слова: гамма-распределение, метод моментов, доверительные интервалы, критерий Пирсона, телефонные звонки, спам.

Введение

В современных условиях роста объёма телефонных коммуникаций неизбежным становится увеличение числа мошеннических или спам-звонков [1,2]. Такая нежелательная активность может нарушать работу коммуникационных систем, увеличивать затраты как пользователей, так и операторов связи [1,2,3]. В связи с этим эффективный анализ данных становится крайне важным, а методы для выявления аномалий в данных телефонных переговоров становятся всё более актуальными и востребованными [2,3].

Гипотеза исследования состоит в том, что длительности звонков подчиняются гамма-распределению [4] с параметрами, находящимися в пределах определённых доверительных интервалов. Отклонение от ожидаемых параметров гамма-распределения может указывать на наличие в выборке спам-звонков, что позволит эффективно идентифицировать потенциальных спамеров и составлять списки кандидатов для проверки на спам-активность.

Таким образом, данная работа предлагает новый подход к выявлению спам-активности, что может спо-

собствовать улучшению методов мониторинга и анализа телефонных переговоров.

Первичная обработка данных

В качестве исходных данных будем использовать датасет телефонных звонков, объемом в 51411 запись. Произведя фильтрацию данных и объединив звонки на один номер, для которых разница между временем окончания одного и началом другого не превосходит 20 секунд, получим результирующий датасет объемом в $n = 6093$ запись. Извлекая данные о длительности звонков (в секундах), формируем конечную выборку.

Объединение звонков на один номер в данном случае обосновано тем, что короткие промежутки времени между ними естественным образом позволяют считать их частью одной телефонной сессии. Такой подход помогает уменьшить избыточность данных и предоставляет более точную картину поведения пользователей.

Оценка параметров закона распределения

Принято считать, что длительности звонков подчиняются экспоненциальному распределению. Однако

известно, что данное распределение является частным случаем гамма-распределения, плотность вероятности для гамма-распределения:

$$p_{\xi}(x, \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{x^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right)}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

где p_{ξ} — плотность вероятности; α — параметр формы гамма-распределения; β — параметр масштаба гамма распределения; $\Gamma(\alpha)$ — гамма-функция

Используя гамма-распределение для моделирования длительности телефонных переговоров, можно более гибко и точно описывать наблюдаемые данные. Помимо этого, оно имеет достаточно простые аналитические формулы для вычисления теоретических моментов. Найдем оценку параметра λ по методу моментов для выборки

$$\begin{cases} \hat{\alpha} = \frac{\bar{X}^2}{S^2} = 0.364128 \\ \hat{\beta} = \frac{S^2}{\bar{X}} = 1498.998938 \end{cases}$$

Дополним гистограмму относительных частот кривыми плотности вероятности показательного и гамма-распределений, считая параметры распределений равными своим точечным оценкам по методу моментов:

На рисунке 1 можно заметить, что кривая плотности вероятности показательного распределения является более полой и описывает поведение выборки хуже, чем кривая плотности вероятности гамма-распределения. Воспользуемся критерием согласия Пирсона для численной оценки разницы между наблюдаемыми данными и предсказанными по гамма и показательному законам [5]. Зададимся уровнем значимости $\alpha_s = 0.01$ и проверим гипотезы о виде распределения для показательного и гамма законов. Критическое значение статистики в случае показательного закона равно 24.72, вычисленная статистика $\chi^2 = 5678,56$, что говорит о том, что гипотеза отклоняется, для гамма-распределения получили следующие значения $\chi^2_{cr} = 23.21$, $\chi^2 = 49,4$, что также является основанием отклонить гипотезу, но значение выборочной статистики существенно меньше по сравнению с показательным законом. Это служит еще одним подтверждением того, что гамма-распределение лучше описывает наблюдаемые данные.

Тем не менее, на заданном уровне значимости обе гипотезы не выполняются. На других стандартных уровнях значимости выше заданного (0.05, 0.1) гипотезы также не будут выполняться.

Оптимизация ширины интервалов

Ввиду выраженной неравномерности плотности данных, полезным будет учесть их специфику оптимизируя

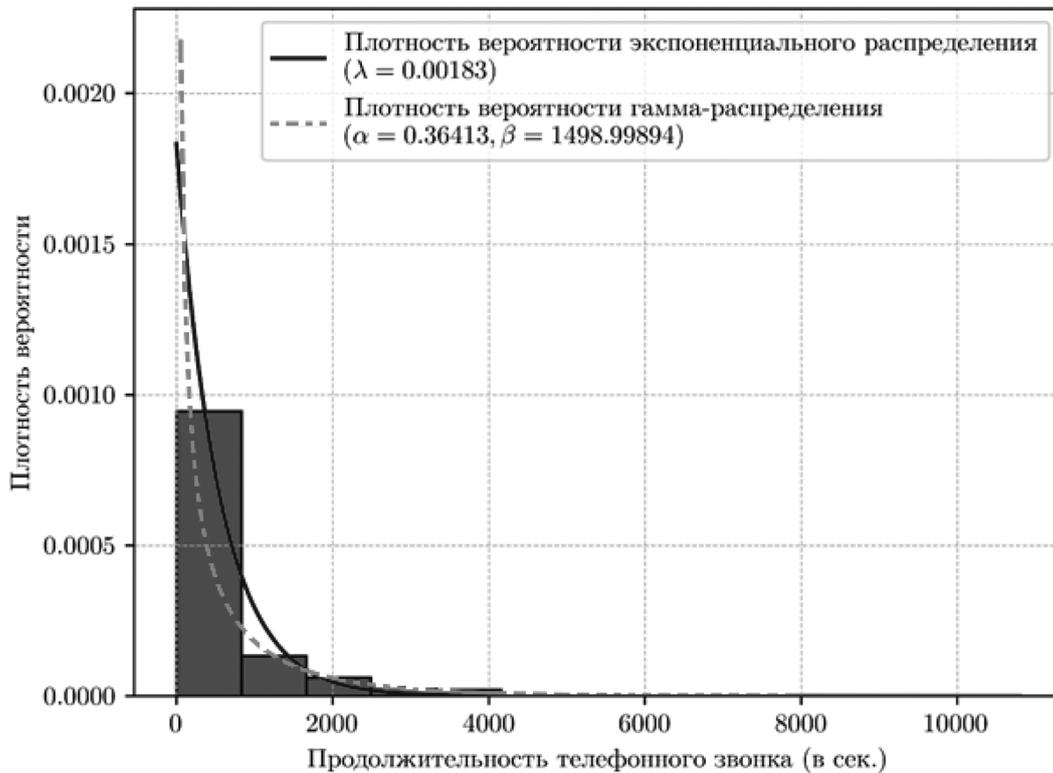


Рис. 1. Гистограмма относительных частот и кривые плотности показательного и гамма распределений

число и ширину интервалов [6,7]. Для решения данной задачи составим скалярную функцию следующего вида:

$$f_{\chi^2}(b_1, b_2, \dots, b_k, b_{k+1}) = n \cdot \sum_{i=1}^k \frac{(p_i - p_i^*)^2}{p_i^*} \quad (2)$$

Где n — объем выборки; k — количество интервалов гистограммы;
 $b_1 = X_{min}, b_{k+1} = X_{max}$ — фиксированные граничные точки;
 b_2, b_3, \dots, b_k ($b_1 < b_2 < b_3 < \dots < b_k < b_{k+1}$) — точки, определяющие границы интервалов гистограммы;
 p_i — наблюдаемая относительная частота в интервале $[b_i, b_{i+1})$; p_i^* — ожидаемая относительная частота в интервале $[b_i, b_{i+1})$

Стоит уточнить, что в случае $i = k$ правая граница интервала включается в него.

По виду функции становится ясно, что она возвращает значение статистики критерия Пирсона, характерное для набора интервалов с границами в точках $b_1, b_2, \dots, b_k, b_{k+1}$. Наложив дополнительные естественные ограничения (обусловленные спецификой данных и здравым смыслом) и используя методы оптимизации (например, метод дифференциальной эволюции), минимизируем данную функцию. Найденная точка минимума функции будет определять оптимальные границы интервалов для наблюдаемых данных, учитывая их специфику.

Проверим значение статистики Пирсона, используя уровень значимости $\alpha_s = 0.1$ и получим следующие значения $\chi_{\alpha}^2 = 21.1, \chi^2 = 20,55$, и тогда, гипотеза о том, что данные подчиняются гамма-распределению, выполняется в соответствии с критерием согласия Пирсона. Так как гипотеза выполняется на уровне $\alpha_s = 0.1$, она будет выполняться и на других стандартных уровнях значимости меньше заданного.

Визуализируем полученный результат, построив гистограмму относительных частот и наложив на нее кривую плотности гамма-распределения (рис. 2).

Интервальные оценки

Построим доверительные интервалы для параметров гамма-распределения по имеющимся данным. Тогда если при анализе телефонной активности абонента возникнут существенные отклонения от гамма-распределения или оценки параметров не попадут в доверительные интервалы, которые будут вычислены ниже, то это может служить сигналом для дополнительной проверки абонента. Такие методы анализа находят применение и в других областях [8], в том числе при выявлении фальсификации на выборах [9]

Для построения интервальных оценок параметров гамма-распределения нами были использованы два различных способа: с применением центральной предель-

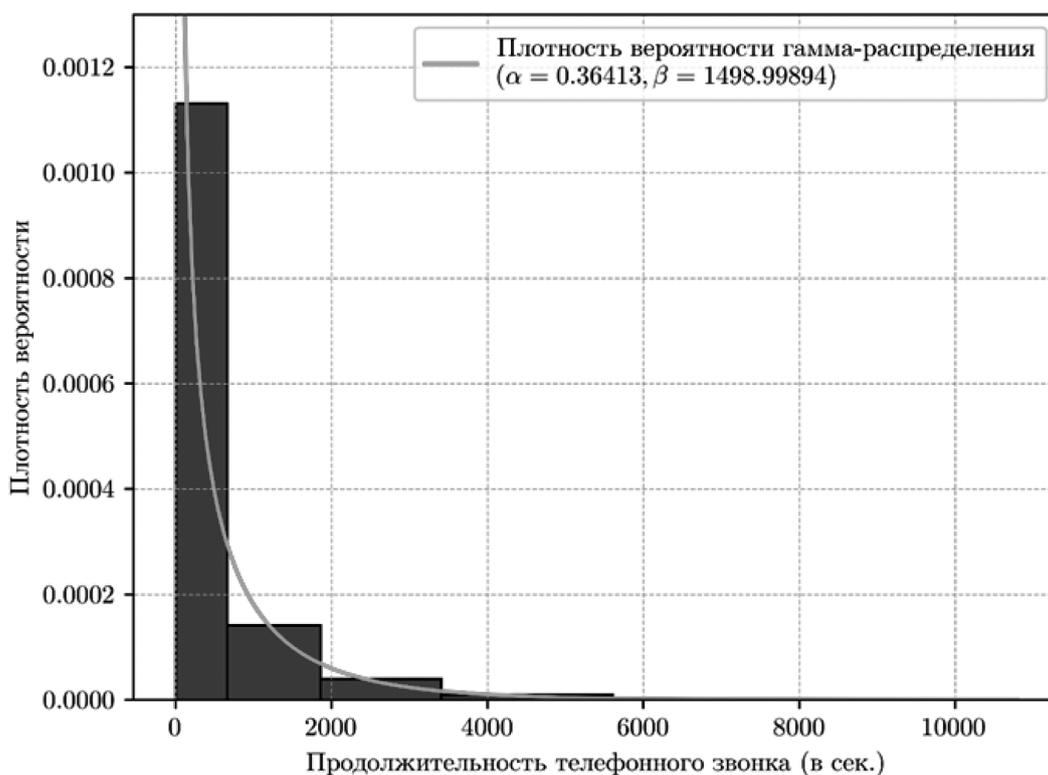


Рис. 2. Гистограмма относительных частот при оптимальных интервалах разбиения

ной теоремы (ЦПТ), а также на основе свойства устойчивости по суммированию гамма-распределения.

Посредством ЦПТ возможно построение только приближенных интервальных оценок и только в случае, если один из параметров распределения уже известен.

$$\begin{aligned}
 X_i &\sim \Gamma(\alpha, \beta) \Rightarrow \\
 \Rightarrow \sum_{i=1}^n X_i &\sim N(n \cdot MX_i, n \cdot DX_i) = N(n\alpha\beta, n\alpha\beta^2) \Rightarrow \\
 \Rightarrow \frac{\sum_{i=1}^n X_i - n\alpha\beta}{\beta\sqrt{n\alpha}} &= \frac{n\bar{x} - n\alpha\beta}{\beta\sqrt{n\alpha}} = \sqrt{n} \frac{\bar{x} - \alpha\beta}{\beta\sqrt{\alpha}} \sim N(0, 1)
 \end{aligned}$$

Тогда, задавшись некоторым уровнем значимости и выбрав значениями двух некоторых точек соответствующие квантили стандартного нормального распределения:

$$P\left(-z_{1-\frac{a_s}{2}} < \sqrt{n} \frac{\bar{x} - \alpha\beta}{\beta\sqrt{\alpha}} < z_{1-\frac{a_s}{2}}\right) = 1 - a_s \quad (3)$$

Полученное двойное неравенство из формулы (3) можно использовать для построения приближенных доверительных интервалов для параметров гамма-распределения на некотором заданном уровне значимости a_s :

$$-z_{1-\frac{a_s}{2}} < \sqrt{n} \frac{\bar{x} - \alpha\beta}{\beta\sqrt{\alpha}} < z_{1-\frac{a_s}{2}} \quad (4)$$

Где z_l — квантиль уровня l стандартного нормального распределения;

Считая, что параметр распределения α известен и равен своей оценке по методу моментов, будем интервально оценивать второй параметр распределения β . Аналогичную интервальную оценку произведем для параметра α , результаты отображены в таблице 1.

Таблица 1.

Доверительные интервалы для параметров гамма-распределения по ЦПТ, основанные на точечных оценках по методу моментов

Уровень значимости a_s	Значение квантиля $z_{1-\frac{a_s}{2}}$	Доверительный интервал для параметра α	Доверительный интервал для параметра β
0.1	1.64	(0.35, 0.38)	(1448.42, 1553.24)
0.05	1.96	(0.35, 0.38)	(1439.12, 1564.08)
0.01	2.58	(0.34, 0.38)	(1421.28, 1585.71)

Как говорилось ранее, полученные таким образом интервальные оценки являются приближенными и неточны по отношению к истинной генеральной совокупности.

Для параметра масштаба β однако можно построить более точный доверительный интервал, используя тот факт, что гамма-распределение устойчиво по суммированию. Но как и в случае с построением интервалов по ЦПТ, мы должны знать значение другого параметра α .

$$\begin{aligned}
 X_i &\sim \Gamma(\alpha, \beta) \Rightarrow \sum_{i=1}^n X_i = n\bar{x} \sim \hat{\Gamma}(n\alpha, \beta) \Rightarrow \\
 \Rightarrow \frac{n\bar{x}}{\beta} &\sim \Gamma(n\alpha, 1)
 \end{aligned} \quad (5)$$

Тогда, задавшись некоторым уровнем значимости и выбрав значениями двух некоторых точек соответствующие квантили гамма-распределения с параметрами $n\alpha$ и 1:

$$P\left(q_{\frac{a_s}{2}} < \frac{n\bar{x}}{\beta} < q_{1-\frac{a_s}{2}}\right) = 1 - a_s \quad (6)$$

Таким образом, следующее двойное неравенство из формулы (6) можно использовать для построения приближенных доверительных интервалов для параметра β гамма-распределения на некотором заданном уровне значимости a_s :

$$q_{\frac{a_s}{2}} < \frac{n\bar{x}}{\beta} < q_{1-\frac{a_s}{2}} \quad (7)$$

Где q_l — квантиль уровня l гамма-распределения с параметрами $n\alpha$ и 1;

Произведем оценивание параметра β , Значение параметра α полагаем равным оценке по методу моментов, результаты отображены в таблице 2.

Таблица 2.

Доверительные интервалы, построенные с использованием свойств гамма-распределения

Уровень значимости a_s	Значение квантиля $q_{\frac{a_s}{2}}$	Значение квантиля $q_{1-\frac{a_s}{2}}$	Доверительный интервал для параметра β
0.1	2141.73	2296.67	(1448.06, 1552.82)
0.05	2127.27	2311.90	(1438.53, 1563.38)
0.01	2099.18	2341.84	(1420.14, 1584.30)

Как видно из таблицы 2, интервалы для параметра β , построенные вторым способом, имеют меньшую ширину и обеспечивают более высокую точность, так как не используют приближений, связанных с центральной предельной теоремы.

Полученные доверительные интервалы для параметров распределения можно использовать для выявления

ния в данных аномалий, которые могут свидетельствовать о наличии мошеннической или спам-активности. Если гистограмма длительностей звонков абонента не соответствует гамма-распределению с параметрами, попадающими в эти интервалы, оператору связи следует рассмотреть возможность проверки такого абонента.

Выводы

В результате проведенного статистического исследования была разработана модель на основе гамма-

распределения и его доверительных интервалов, позволяющая выявлять в данных аномалии, потенциально свидетельствующие о наличии спам-активности.

Анализ доверительных интервалов показал, что для интервальной оценки параметра β предпочтительней использовать способ на основе свойства устойчивости по суммированию, присущему гамма-распределению. Это может увеличить точность предложенной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов, В.М., Захарова А.И. Методы защиты от спам-звонков // Тенденции развития науки и образования. — 2023. — № 96-8. — С. 94–97.
2. Ковалев, С.С., Шишаев М.Г. Современные методы защиты от нежелательных почтовых рассылок // Труды Кольского научного центра РАН. — 2011. — № 4(7). — С. 100–111.
3. Сулейменова, Р.Д., Антонов И.В., Патутин В.В. Способы и методы защиты от СПАМ звонков в современном обществе // Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков: Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, Москва, 30 мая 2023 года. — Москва: Алф, 2023. — С. 153–160.
4. Облакова Т.В., Зубарев К.М., Сальникова А.А., Шинаков Д.С. Математические и инженерные примеры законов распределений случайных величин в ЦОС Nomotex // Дневник науки. — 2022. — № 12(72).
5. Гателюк, О.В., Манюкова Н.В. Проверка статистических гипотез — Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2022. — 112 с.
6. Лемешко, Б.Ю. Асимптотически оптимальное группирование наблюдений в критериях согласия // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 1998. — Т. 64, № 1. — С. 56–64.
7. Никулин М.С. Критерий хи-квадрат для непрерывных распределений с параметрами сдвига и масштаба/Теория вероятностей и ее применение. 1973. Т. XVIII. № 3. С.583–591.
8. Облакова, Т.В., Зубарев К.М., Яковлев Д.Ю. Анализ распределения высоты морских волн. Сравнение оценок и применение критерия согласия Пирсона // Дневник науки. — 2023. — № 12(84).
9. Подлазов, А.В. Выборы депутатов Государственной Думы VII созыва: Выявление фальсификаций результатов и их реконструкция // Социологические исследования. — 2018. — № 1(405). — С. 59–72.

© Зубарев Кирилл Михайлович (zubarev.bmstu@mail.ru); Макаричев Георгий Олегович (makarichevgo@student.bmstu.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ БАЛЛАСТНОЙ СИСТЕМЫ СУДНА

DEVELOPMENT OF A LABORATORY BENCH FOR THE STUDY OF OPERATING MODES AUTOMATED BALLAST SYSTEM OF THE VESSEL

**O. Kichigina
S. Kornienko
E. Chekotilo**

Summary. Modern higher education is focused on the training of highly qualified engineers capable of ensuring the technological sovereignty of Russian Federation. To achieve these goals, universities are creating educational spaces of a new format, the equipment of which requires the development of specialized laboratory benches. At the same time, the task of assembling own educational laboratory equipment based on domestic components and software is urgent. The article describes a laboratory bench designed to study the principles and operating modes of a modern automated ballast and drainage system of a vessel.

Keywords: laboratory bench, ship ballast device, automated system, operating modes.

Кичигина Ольга Юрьевна

к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный морской технический университет»
olga1986kichigina@gmail.com

Корниенко Семен Викторович

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет»
semka20018@gmail.com

Чекотило Елена Юрьевна

к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет»
e_chekotilo@mail.ru

Аннотация. Современное высшее образование ориентировано на подготовку высококвалифицированных инженеров, способных обеспечить технологический суверенитет нашей страны. Для достижения этих целей в университетах создаются образовательные пространства нового формата, оснащение которых требует разработки специализированных лабораторных стендов. При этом актуальной является задача сборки собственного учебного лабораторного оборудования на базе отечественных комплектующих и программного обеспечения. В статье описывается лабораторный стенд, разработанный для изучения принципов и режимов работы современной автоматизированной балластно-осушительной системы судна.

Ключевые слова: лабораторный стенд, судовое балластное устройство, автоматизированная система, режимы работы.

Ключевой задачей, стоящей перед нашей страной в условиях сложившейся геополитической ситуации и санкционного давления является достижение научно-технологического лидерства в приоритетных отраслях экономики и установления технологического паритета в наукоемких областях. Одной из отраслей, несомненно обладающей значительным потенциалом, выступает судостроение.

Создание собственных отечественных технологий и инновационных продуктов, в том числе мирового уровня для обеспечения решения приоритетных задач технологического суверенитета России невозможно без формирования системы опережающей подготовки высококвалифицированных инженеров. Опорным центром в сфере развития и поддержания кадрового потенциала судостроительной отрасли исторически является Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (далее — СПбГМУ). В рамках федеральных проектов «Приоритет 2030» и «Передовые инженерные школы» на базе СПбГМУ создаются специальные оборудованные для подготовки и переподготовки кадров

образовательные пространства. При этом уникальное оснащение учебных лабораторий проектируется и создается сотрудниками и студентами университета. Разработка собственных специализированных лабораторных стендов на базе отечественного оборудования и программного обеспечения позволяет учесть особенности преподаваемых дисциплин, в том числе специфику моделируемых и автоматизируемых технологических процессов. При этом готовые решения обладают расширенным по сравнению с предлагаемыми на рынке учебно-лабораторного оборудования продуктами функционалом и вполне могут конкурировать с имеющими более высокую рыночную стоимость комплексами [2].

Предметом данной статьи является созданный для обучения студентов специальности 26.05.02. Проектирование, изготовление и ремонт энергетических установок и систем автоматизации кораблей и судов лабораторный стенд, моделирующий работу балластно-осушительной системы. Разработка внедрена в учебный процесс в рамках дисциплин: «Современные методы проектирования систем автоматизации судов», «Автоматизация общесу-

довых систем», «Исполнительные устройства и регулирующие органы автоматических систем» [3].

Объектом моделирования стало разработанное учеными СПбГМУ в рамках НИОКР ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова» [1] судовое балластное устройство.

Разработка, обеспечивающая прием забортной воды (водяного балласта), перекачку ее по судну и удалению за борт, может быть использована как на грузовых судах (контейнеровозах, балкерах, паромках, и т.п.), во время переходов, испытывающих отклонения по крену и дифференту, так и на морских объектах (морских платформах, трубокладчиках и т.п.), требующих динамического ориентирования в условиях волнения.

В процессе проектирования лабораторного стенда:
 — осуществлена адаптация конструкции судового балластного устройства [1] и сформулированы требования к его габаритным размерам;

- разработаны функциональная (рисунок 1) и электрическая принципиальная схемы, на основе которых произведен подбор ключевых компонентов стенда: насосного оборудования и запорной арматуры, контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации, а также элементов щита управления;
- произведен монтаж и сборка оборудования;
- реализован алгоритм управления и визуализация процессов на базе отечественного программного обеспечения.

Основными элементами функциональной схемы лабораторного стенда (рисунок 1) являются:

- балластные цистерны (левая и правая) — блоки 1 и 2 на рисунке;
- нереверсивный насос — 3, обеспечивающий перекачку воды между цистернами;
- электромагнитные клапаны — 4 и 5, установленные на всасывающих и напорных каналах трубопроводов;

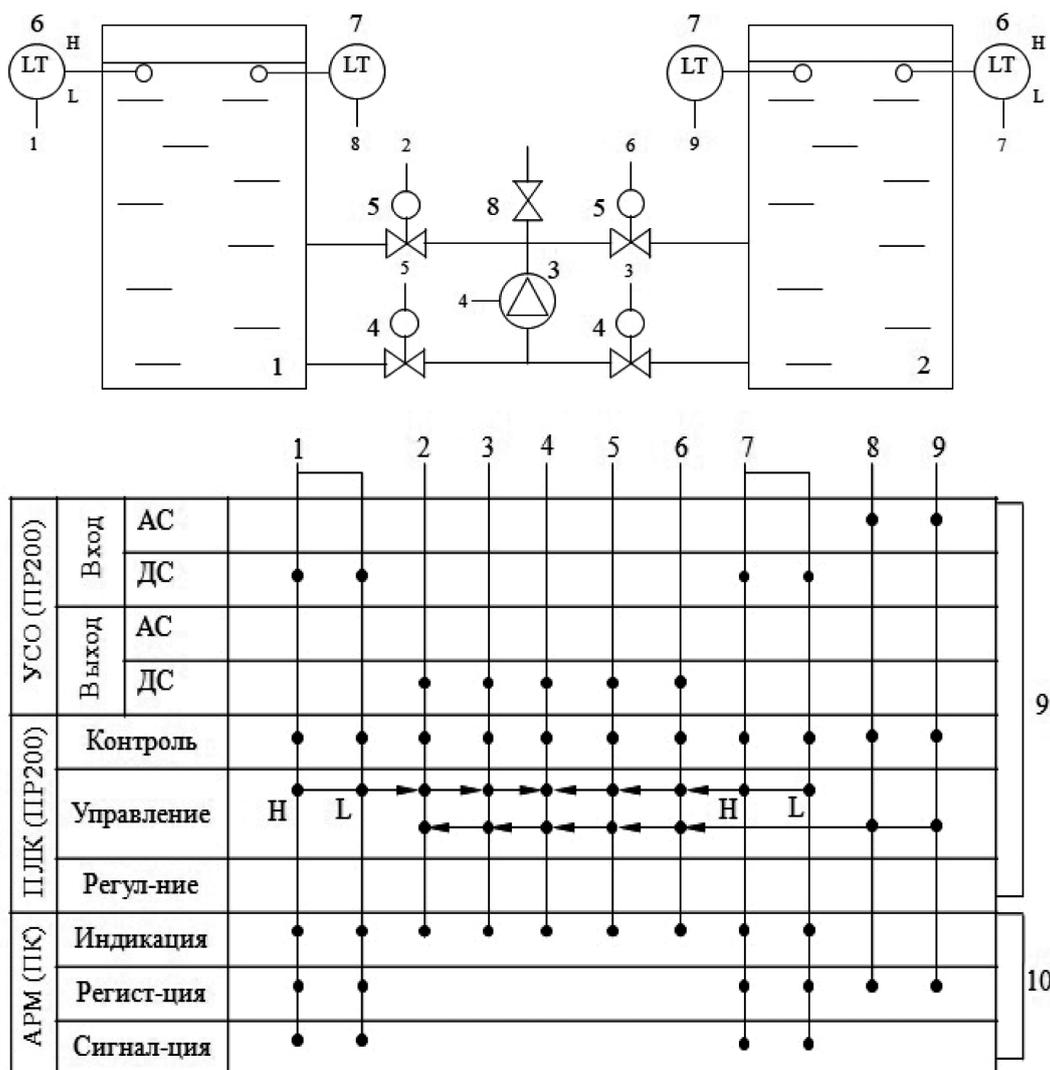


Рис. 1. Функциональная схема лабораторного стенда

- поплавковые сигнализаторы уровня (ПДУ-3.2.500.100/3) — 6;
- аналоговые датчики уровня (ПДУ-И.500.10) — 7;
- шаровой кран — 8, предназначенный для осушения системы;
- пульт управления — 9, базовым элементом которого является программируемый контроллер (ПР200-220.4);
- автоматизированное рабочее место оператора или инженера на базе персонального компьютера — 10, оснащенное программными средствами сбора данных, визуализации процесса, решения задач разработки проектов (OWEN Logic, MasterSCADA).

Результатом оценки функциональности и удобства использования учебного лабораторного оборудования, представленного на рынке, стало решение о проектировке учебно-лабораторного стенда в настольном исполнении (габаритные размеры — 85x170x40 см, вес без нагрузки — 19 кг). Такая конструкция совмещает достоинства напольных и мобильных установок: удобна для транспортировки и подходит для установки на лабораторных столах, что позволяет экономить рабочее пространство без потери функционала системы.

На этапе проектирования конструкции в соответствии с техническим заданием и утвержденными габаритными размерами была существенно модернизирована исходная компоновка устройства [1], требовавшая установки в его лабораторном представлении трех ци-

стерн — двух основных и одной расходной. В результате система была приведена к закрытому исполнению, сократилось количество дистанционно-управляемых клапанов (с 6 до 4 шт.). Это позволило существенно упростить установку и повысить ее надежность (рисунок 2).

В результате на базе разработанного стенда реализованы следующие функции и режимы работы балластно-осушительной системы [4]:

1. измерение, индикация и сигнализация предельных значений уровня воды в цистернах;
2. измерение, трассировка уровня воды в цистернах по данным с аналоговых датчиков;
3. перекачка в автоматическом и ручном режиме балласта с правого на левый (с левого на правый) борт по сигналу, поступающему от датчиков верхнего и нижнего уровня;
4. сброс (осушение) излишних балластных вод из цистерн в ручном режиме;
5. определение угла крена по перепаду уровня воды в цистернах;
6. выравнивание в автоматическом режиме уровня воды в цистернах (стабилизация угла крена);
7. формирование журналов тревог.

Программно-аппаратный лабораторный стенд активно используется в учебном процессе кафедры «Судовая автоматика и измерения» СПбГМУ для подготовки специалистов в области проектирования систем автоматизации кораблей и судов.



Рис. 2. Конструкция установки

ЛИТЕРАТУРА

1. Судовое балластное устройство [Электронный ресурс]: пат. 160593 Российская Федерация: МПК В63В 43/06 (2006.01), В63В 13/00 (2006.01)/ Соколов С.С., Нырков А.П., Черный С.Г., Жиленков А.А.; федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова». — №2015147624/11; заявл. 05.11.2015; опубл. 27.03.2016. — Электрон. версия печ. публ. — Доступ с сайта ФГУ ФИПС.
2. Васюков С.А. Системный подход применения электроизмерительных приборов и средств компьютерного моделирования в лабораториях вузов технического профиля // Машиностроение и компьютерные технологии. 2017. № 09. С. 24–43.
3. Павлова И.В., Потапов А.А. Опыт разработки лабораторных стендов студентами в рамках проектного обучения / Преподаватель XXI век. 2021. № 1 Часть 1. С. 114–121. DOI: 10.31862/2073-9613-2021-1-114-121/
4. Нургалиев Р.К., Кузьмин В.В., Куликов Ю.А., Чупаев А.В., Галямов Р.Р., Гайнуллина А.А. Лабораторный стенд для изучения систем автоматизации узлов коммерческого учета жидких продуктов / Вестник технологического университета. 2013. Т.16. № 1. С.67–70.

© Кичигина Ольга Юрьевна (olga1986kichigina@gmail.com); Корниенко Семен Викторович (semka20018@gmail.com);

Чекотило Елена Юрьевна (e_chekotilo@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ БАЗ ДАННЫХ

Колесников Антон Александрович

Санкт-Петербургский Политехнический
университет Петра Великого
anton.kolesnikov.science@mail.ru

APPROACH TO ENSURING SECURITY OF DISTRIBUTED DATABASES

A. Kolesnikov

Summary. The study presented in the article is devoted to the consideration of various approaches to ensuring the security of distributed databases. In the process of analysis, key problems of information protection in distributed databases are identified. Approaches to information protection related to backup, authentication, encryption and regular security audits are described. The author's basic scheme and algorithm for ensuring the security of a distributed database are presented. Various strategies and approaches are considered that allow protecting distributed databases from malicious actions and intrusions. It seems that the development of artificial intelligence technologies, blockchain, machine learning and other breakthrough solutions will improve the efficiency and simplify the protection of distributed databases, making them more reliable.

Keywords: distributed database, protection, encryption, copy.

Аннотация. Представленное в статье исследование посвящено рассмотрению различных подходов к обеспечению безопасности распределенных баз данных. В процессе анализа выделены ключевые проблемы защиты информации в распределенных базах данных. Описаны подходы к защите информации, связанные с резервным копированием, аутентификацией, шифрованием и регулярными аудитами безопасности. Представлена авторская базовая схема и алгоритм обеспечения безопасности распределенной базы данных. Рассмотрены различные стратегии и подходы, позволяющие защитить распределенные базы данных от злонамеренных действий и вторжений. Представляется, что развитие технологий искусственного интеллекта, блокчейна, машинного обучения и других прорывных решений позволит повысить эффективность и упростит защиту распределенных баз данных, сделав их более надежными.

Ключевые слова: распределенная база, защита, шифрование, копия.

По мере роста бизнеса и расширения потребностей в хранении информации, выходящих за рамки традиционной единичной базы данных, компании нуждаются в более сложном варианте подходов и методов работы с широким набором данных. Традиционные хранилища, построенные на основе реляционных баз данных и способные оперировать только структурированными сведениями, стали испытывать трудности при работе с большими объемами информации. И в данном случае для удовлетворения возникшего спроса свое широкое применение нашли распределенные системы, которые позволяют получить все преимущества традиционного хранилища, но при этом обеспечивают сохранность больших объемов информации и делают их доступными по всей компьютерной сети [1].

Системы распределенных баз данных стали краеугольным камнем современных приложений, особенно с развитием облачных вычислений, больших данных и аналитики в реальном времени. Об их популярности свидетельствует тот факт, что глобальный рынок облачных баз данных оценивался в 15,08 млрд долларов США в 2022 году, и ожидается, что к 2032 году он превысит примерно 68,38 млрд долларов США, а среднегодовой темп роста составит 16,32 % с 2024 по 2032 год (см. рис. 1).

Распределенные базы данных прекрасно справляются со своей задачей, обеспечивая внутренние данные

организационной структурой, расширяя возможности совместного использования, повышая доступность, открывая новые возможности для модульного роста и увеличивая скорость обработки. Кроме того, они предлагают множество преимуществ, таких как масштабируемость, отказоустойчивость и географическое распределение. Однако, ни одно решение для хранения данных не обходится без недостатков, и распределенные базы данных также сталкиваются с уникальным набором проблем. И эти проблемы связаны с их уязвимостью к сторонним атакам, с высокой подверженностью взлома и нарушению конфиденциальности данных.

В данном контексте, актуальность вопросов безопасности распределенной базы данных, развития методов защиты информации и системы, которая ими управляет, не подлежит сомнению, что и послужило основанием для выбора темы данной статьи.

Фундаментальным и прикладным исследованиям в области безопасности различных систем, сетей и баз данных посвятили свои труды Налисник А.Н., Белов Ю.С., Полтавцева М.А., Зегжда Д.П., Калинин М.О., Foad Jalali, Mehran Alidoost Nia, Tatiana Ermakova, Meisam Abdollahi, Benjamin Fabian.

Общие концепции и модели безопасности информации, способы обеспечения разрешенных доступов получили свое развитие в публикациях Сухобокова А.А., Тру-

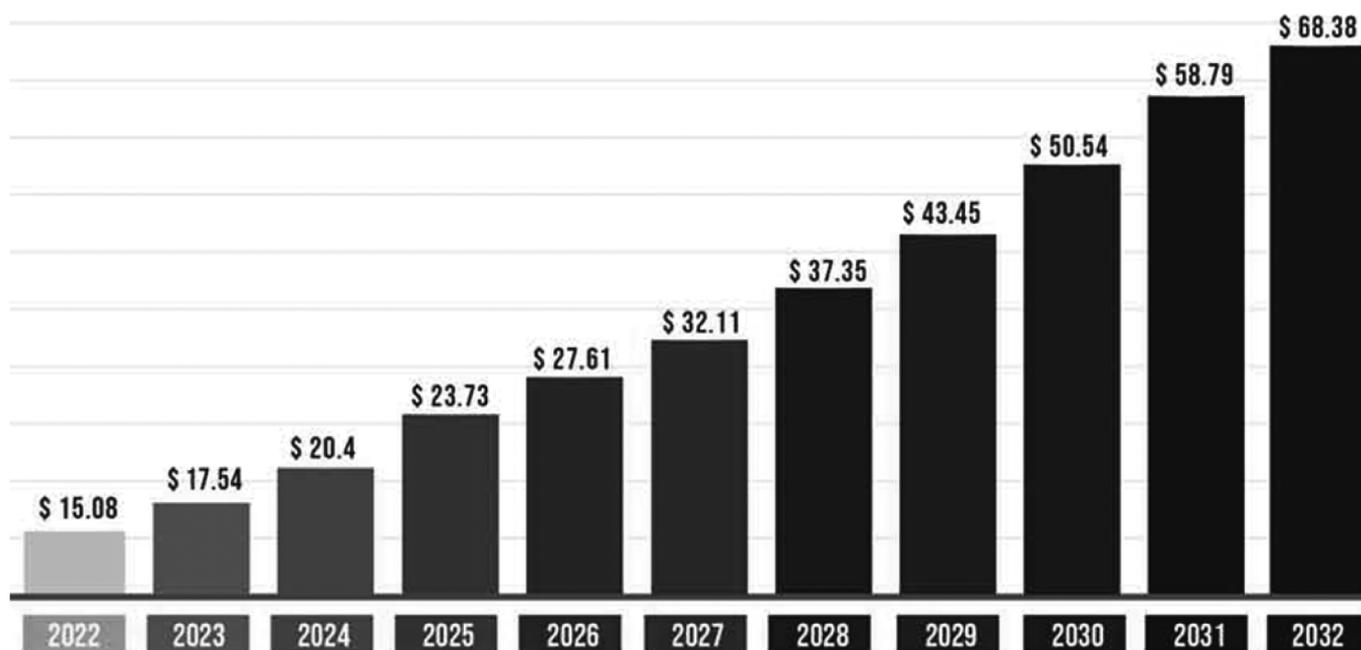


Рис. 1. Динамика глобального рынка облачных баз данных, млрд дол. [2]

фанова В.А., Столярова Ю.А., Садыкова М.Р., Елизарова О.О., Грозмани Е.С., Петрова С.В., Jafar A. Alzubi, Omar A. Alzubi, Ashish Singh, Tareq Mahmod Alzubi.

Однако, количество нарушений безопасности баз данных в настоящее время растет в геометрической прогрессии, а связанные с ними последствия становятся все более существенными. Это свидетельствует о том, что в данной предметной плоскости существует еще много нерешенных проблем, которые заслуживают отдельного внимания. Так, в более углубленной проработке нуждаются методы защиты архитектуры распределенных систем, которые могут включать межоблачные, гибридные и/или мультиоблачные сети. Кроме того, в отдельном обосновании нуждаются подходы защиты данных, которые могут использоваться к базам со специальными требованиями соответствия в регулируемых средах.

Таким образом, цель статьи заключается в изучении подходов и методов, которые используются в процессе обеспечения безопасности распределенных баз данных.

Распределенные системы баз данных состоят из нескольких баз данных, соединенных сетью, часто расположенных в разных физических местах. Вместо единого центрального хранилища данные распределяются между несколькими серверами. Для оптимизации производительности и надежности в системе могут использоваться различные стратегии, такие как чередование, разделение или репликация [3]. На фоне всех своих преимуществ и возможностей распределенные базы данных часто более подвержены рискам безопасности из-за своей природы. Несанкционированный доступ, утечка

данных и другие слабые места могут поставить под угрозу всю систему. Кратко обозначим уязвимости распределенной базы данных, что позволит более четко выделить наиболее приемлемые подходы к ее защите.

1. Злоупотребление привилегиями базы данных — открытый, совместный характер распределенных баз данных может позволить неавторизованным пользователям получить доступ к данным, которые для них закрыты.
2. Угрозы, связанные с вредоносным программным обеспечением.
3. Физическая уязвимость — поскольку данные в распределенной системе хранятся на физических серверах, они подвержены тем же угрозам, что и любые физические устройства хранения: наводнение, пожар, удар молнии, другие физические повреждения, технические сбои и многое другое.
4. Обнаружение данных — чувствительные данные могут быть раскрыты при получении доступа неавторизованным пользователем, создании несанкционированных копий или краже устройства, содержащего эти данные.
5. Синхронизация данных — одно из самых больших преимуществ распределенной базы данных является также одним из ее самых слабых мест. Распределенные базы данных часто применяются для предоставления пользователям расширенного совместного доступа к данным на нескольких сайтах, а также для увеличения емкости хранилища [4]. Хотя эта функция повышает производительность и максимально увеличивает пространство для хранения, она также представляет собой один

из самых больших рисков нарушения целостности, конфиденциальности распределенной базы данных.

На сегодняшний день наработаны различные подходы к обеспечению безопасности распределенных баз данных.

Одним из самых популярных является надежное облачное решение для резервного копирования, которое позволяет:

- обеспечивать резервное копирование данных в неограниченном количестве баз данных;
- автоматически и непрерывно создавать резервные копии данных, чтобы учитывать каждый файл и его изменения;
- получить доступ и восстанавливать предыдущие версии файлов, чтобы отменить случайные изменения и удаления;
- реализовать упреждающую виртуализация серверов для полного устранения простоев, связанных с потерей данных;
- восстановить данные на том же устройстве или на новом в случае повреждения или потери устройства.

Помимо этого, перспективным подходом для защиты распределенной базы данных является использование надежных механизмов аутентификации, шифрования и регулярные аудиты безопасности, которые могут значительно повысить уровень надежности системы [5].

Аутентификация, контроль доступа, криптографические методы, системы на основе кворума, модели, основанные на доверии и т.д. — это многочисленные разработки, направленные на создание безопасных и доверенных распределенных систем. Обобщение различных аспектов и технологии безопасности в распределенных базах данных представлены в таблице 1.

Вышеизложенные методы и подходы, конечно, не являются исчерпывающим списком всего, что можно сделать и использовать для защиты распределенных баз данных.

В рамках проводимого исследования рассмотрим более детально практические аспекты обеспечения безопасности распределенных систем хранения информации. Для этого автором формализована соответствующая базовая схема и алгоритм.

На рис. 2 описаны запрос, обработка и ответ в распределенной базе данных.

Алгоритм обеспечения безопасности для распределенной базы данных приведен на рис. 3 в виде блок-схемы. Общие шаги алгоритма включают в себя:

Таблица 1.

Технологии обеспечения безопасности в распределенных базах данных (составлено автором)

№ п/п	Категория	Фокус
1	Подходы, основанные на аутентификации	Техника аутентификации пути
		Архитектура планирования с учетом требований безопасности
		Аутентификация удаленного клиента
		Пароли, цифровые сертификаты и конфиденциальность
2	Безопасность на основе доверия	Криптография в серверах аутентификации
		Управление рисками
		Система P2P
		Расширенная модель на основе теории D-S
3	Безопасность на основе политики	Контекстно-чувствительная модель доверия
		Модульные политики безопасности
4	Безопасность на основе шаблонов	Модель безопасности для распределенных систем
5	Безопасность на основе кворума	Распределенная система отказоустойчивости
6	Другие методы	Система на основе мобильных агентов
		Генетический алгоритм
		Веб-архитектура X-Trop
		Надежный массив независимых узлов (RAIN)
		Планировщик легальных информационных потоков

1. Пользователь через сервер приложений отправляет свой запрос на прокси-сервер.
2. Прокси-сервер шифрует полученный запрос.
3. Прокси-сервер отправляет зашифрованный запрос на сервер СУБД.
4. В базе данных выполняются SQL-операции над зашифрованными данными.
5. Сервер СУБД отправляет зашифрованный ответ на прокси-сервер.
6. Прокси-сервер расшифровывает полученный от базы данных ответ.
7. Прокси-сервер отправляет расшифрованный ответ на сервер приложений пользователя.

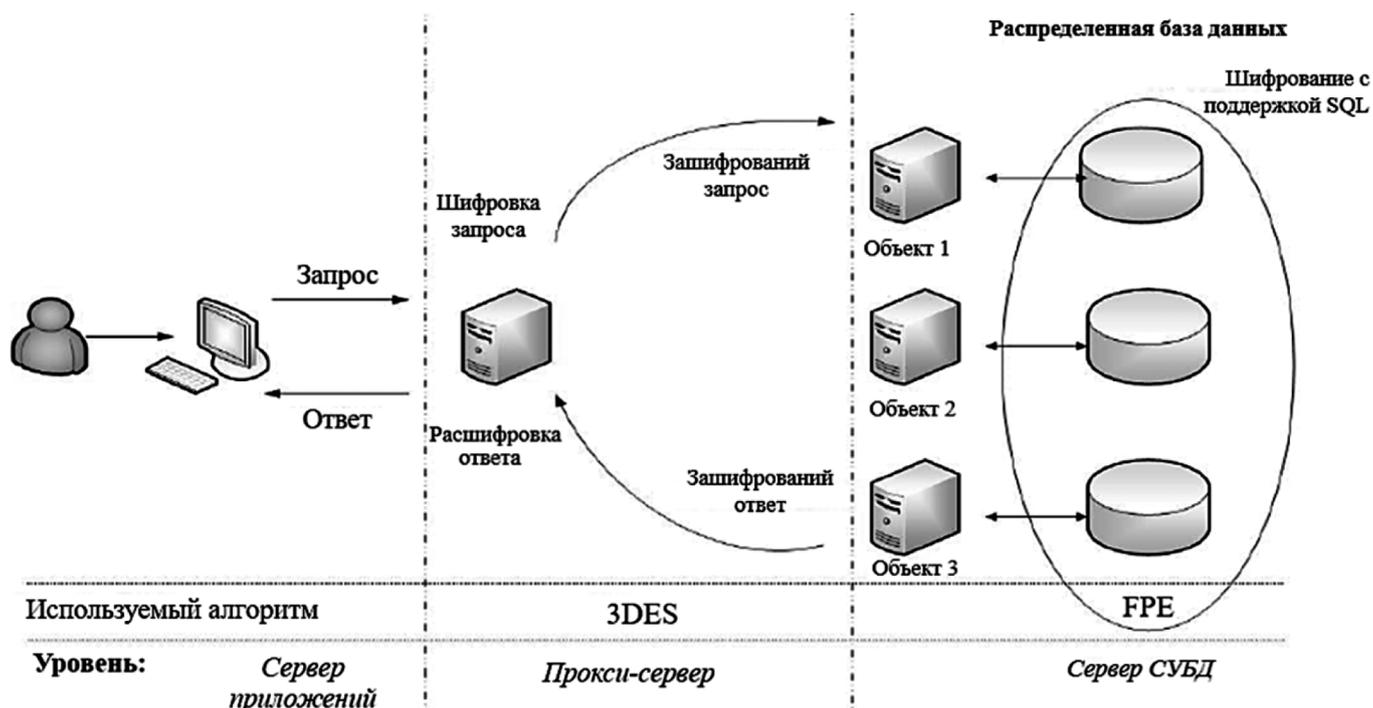


Рис. 2. Базовая схема безопасности для распределенной базы данных

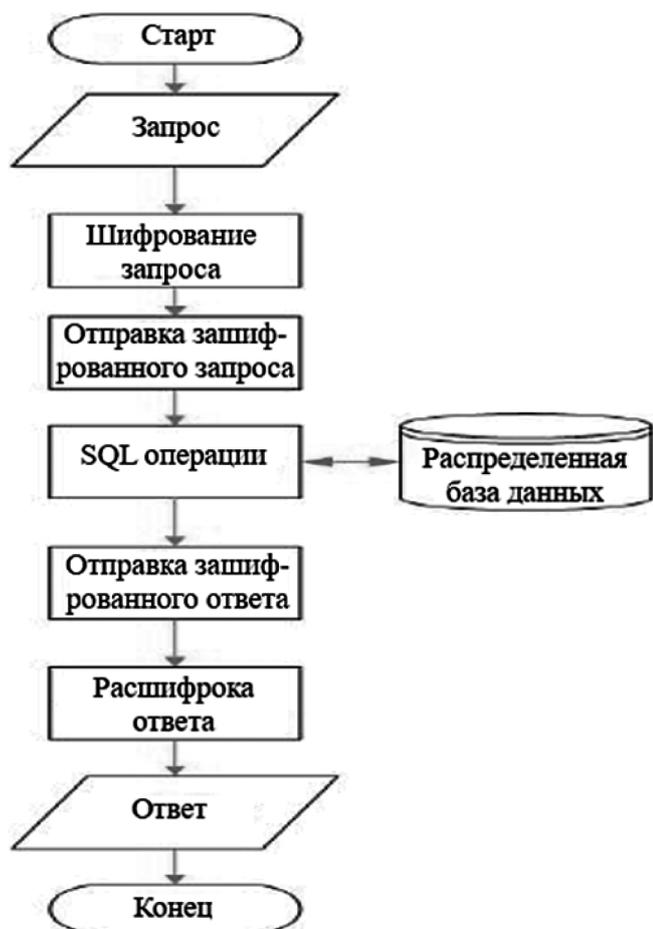


Рис. 3. Алгоритм обеспечения безопасности для распределенной базы данных

На четвертом шаге алгоритма, приведенного на рис. 2, задачи SQL-операций выражаются следующим математическим базисом:

$$M \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^m \left| \begin{array}{c} Delete \\ p, t \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} Insert \\ A_i v_i \\ t \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} Select \\ A_i t_j \\ p \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} Update \\ A_i v \\ p, t \end{array} \right|$$

где: M — количество распределяемых объектов, n — количество атрибутов для вставки или обновления, m — количество таблиц для выбора, A_i — атрибут таблицы, t_j — одна из таблиц для выбора, P — предикат или условие, t — таблица для удаления, вставки или обновления, v_i — значение для вставки или обновления, i не зависит от j .

На шестом шаге алгоритма, приведенного на рис. 2 только в том случае, если запрашиваемая операция была SELECT, получается набор данных; каждая возвращенная запись должна быть расшифрована следующим математическим образом:

$$\prod_{i=1}^n \sigma_i v_i = \sigma_1 v_1, \sigma_2 v_2, \dots, \sigma_n v_n$$

$v \in D$

где: σ — операция дешифрования, v — строка или вектор, D — набор данных или векторов, n — количество строк набора данных.

Если результат операции отличен от нуля, то получается набор данных в виде D_{nm} .

$$\begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1m} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nm} \end{pmatrix}$$

При операциях удаления, вставки или обновления база данных возвращает только количество затронутых строк или ноль.

Итак, в представленной базовой схеме принята трехуровневая архитектура. На уровне прокси-сервера для запросов и ответов к базе данных использован алгоритм 3DES, на уровне сервера СУБД — алгоритмы шифрования на основе SQL и FPE. Предложенная схема и алгоритм не зависят от относительной безопасности, предлагаемой распределенной базой данных. Предполагаемый контроль доступа не зависит от прав пользователя. В процессе реализации схемы и алгоритма сле-

дует учитывать эффективность при увеличении объема данных.

Подводя итоги проведенному анализу, можно отметить следующее. Системы распределенных баз данных являются неотъемлемой частью современных вычислений, однако они имеют ряд проблем с обеспечением сохранности и безопасности информации. В статье рассмотрены различные стратегии и подходы, позволяющие защитить распределенные базы данных от злонамеренных действий и вторжений. Также предложена авторская базовая схема и алгоритм обеспечения безопасности распределенной базы данных. Представляется, что развитие технологий искусственного интеллекта, блокчейна, машинного обучения и других прорывных решений позволит повысить эффективность и упростит защиту распределенных баз данных, сделав их более надежными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закирова Э.Ф., Павлов С.В., Трубин В.Д., Христовуло О.И. Детализация пространственной информации для обеспечения защищенности баз данных в распределенных информационных системах // Системная инженерия и информационные технологии. 2022. Т. 4. № 1 (8). С. 20–26.
2. Унгер А.Ю. Формальный язык описания транзакций в реляционных базах данных // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. 2022. Т. 6. № 1. С. 101–106.
3. Пучков А.Ю., Соколов А.М., Широков С.С., Прокимов Н.Н. Алгоритм выявления угроз информационной безопасности в распределенных мультисервисных сетях органов государственного управления // Прикладная информатика. 2023. Т. 18. № 2 (104). С. 85–102.
4. Hongliang Tian, Xiaonan Ge Research on distributed blockchain-based privacy-preserving and data security framework in IoT // IET Communications. 2020. Volume 14, Issue 13. P. 56–64.
5. Shitharth Selvarajan, Achyut Shankar A smart decentralized identifiable distributed ledger technology-based blockchain (DIDLT-BC) model for cloud-IoT security // Expert Systems. 2024. №56. P. 45–49.
6. Alireza Chamkoori, Serajdean Katebi Security and storage improvement in distributed cloud data centers by increasing reliability based on particle swarm optimization and artificial immune system algorithms // Concurrency and Computation: Practice and Experience. 2023. Volume 35, Issue 6. P. 129–134.
7. Полтавцева М.А., Зегжда Д.П., Калинин М.О. Многоуровневая концепция безопасности систем управления большими данными // Вопросы кибербезопасности. 2023. № 5 (57). С. 25–36.

© Колесников Антон Александрович (anton.kolesnikov.science@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2024.10-2.14

ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ И ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫМИ СЕРВИСАМИ В КОМПАНИЯХ

TASKS AND METHODS OF FORMALIZATION AND OPTIMAL MANAGEMENT OF DIGITAL SERVICES IN COMPANIES

S. Kurovsky
D. Mishin
R. Shtykov

Summary. The article presents current aspects of solving problems and developing methods for formalizing and optimally managing digital services in companies. This study is devoted to the formation of an optimal system of digital services in companies and the structure of their optimal management. The article contains promising areas for the practical implementation of currently existing IT methodologies in the context of existing business needs. The solution of these aspects requires the development of five issues in the context of the study: the structure of optimal management of digital services in companies; creation of an optimal system of digital services based on ERP; development of a service improvement plan — a project portfolio for optimizing digital services; optimization of scheduling for parallel practical implementation of digital services; sequence of solving problems of optimal management of digital services.

Keywords: digital services; optimal control; formalization methods; optimal system; sequence of problem solving; calendar planning.

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

Штыков Роман Александрович

к.т.н., Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
ipmrroman@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены актуальные аспекты решения задач и проработки методов формализации и оптимального управления цифровыми сервисами в компаниях. Данное исследование посвящено формированию оптимальной системы цифровых сервисов в компаниях и структуры их оптимального управления. Статья содержит перспективные направления практического осуществления существующих в настоящее время IT-методологий в условиях имеющихся у бизнеса потребностей. Решение приведенных аспектов требует проработки пяти вопросов в контексте исследования: структура оптимального управления цифровыми сервисами в компаниях; создание оптимальной системы цифровых сервисов на основе ERP; разработка плана сервисных улучшений — проектного портфеля оптимизации цифровых сервисов; оптимизация календарного планирования параллельного практического осуществления цифровых сервисов; последовательность решения задач оптимального управления цифровыми сервисами.

Ключевые слова: цифровые сервисы; оптимальное управление; методы формализации; оптимальная система; последовательность решения задач; календарное планирование.

Введение

В настоящее время уровень конкурентоспособности большинства IT-организаций взаимосвязан с существованием профессиональных компетенций максимального удовлетворения предпочтений коммерческих компаний в реинжиниринге имеющихся у них бизнес-моделей и интеграции платформ ERP. Такой реинжиниринг ориентирован на отраслевые условия функционирования предпринимательских единиц, а платформы ERP позволяют осуществлять на практике улучшенную модель [3], [4].

Для того чтобы максимально удовлетворить предложения коммерческих компаний, IT-организации использовали лучшие решения, основанные на методологии ITIL. Это обеспечивало коммерческим компа-

ниям относительно высокую конкурентоспособность за счёт возрастания производительности имущества, степени достоверности управленческих данных, значительного уменьшения сроков принятия значимых решений [1], [7].

На сегодняшний день, в соответствии с имеющимися источниками и результатами предыдущих исследований [2], [5], [6], [8], [9], можно выделить перспективные направления практического осуществления существующих IT-методологий в условиях имеющихся у бизнеса потребностей:

1. Внедрение концепции организации IT-обеспечения на базе лучших решений IT-методологий.
2. Возможности многовариантной формализации управления цифровыми сервисами на основе интеграции лучших интеллектуальных решений.

3. Формирование и практическое использование структуры саморазвивающейся и адаптивной системы управления цифровыми сервисами.

Актуальность работы

Хотя присутствуют значительные достижения в сфере поставки ИТ-услуг, трудности заключаются в недостаточном уровне результативности лучших решений ИТ-методологий, получаемых в ходе их практического использования (эвристических алгоритмов, сформированных при применении теоретических и прикладных методов управления). Изменения, которые в последнее время произошли на рынке [], способствуют нахождению новых направлений роста отраслевой конкурентоспособности, обусловленных развитием и использованием прикладных основ управления цифровыми сервисами, для того чтобы увеличить уровень качества значимых в менеджменте решений.

Цель данного исследования — сформировать методы формализации и оптимального управления цифровыми сервисами в компаниях.

Задачи исследования:

1. Выявить перспективные направления практического осуществления существующих ИТ-методологий в условиях имеющихся у бизнеса потребностей.
2. Отобразить методы формализации и оптимального управления цифровыми сервисами в компаниях на основе их рациональной системы и структуры управления.

Материалы и методы

Для выявления перспективных направлений практического осуществления существующих ИТ-методологий в условиях имеющихся у бизнеса потребностей, автором статьи был осуществлен анализ теоретических и эмпирических источников академической литературы, аналитических документов, отражающих вопросы работы ИТ-сектора, отечественного малого и крупного бизнеса в современных условиях рыночной среды.

Помимо вышеуказанных методов, автором статьи использовались метод индукции, дедукции, анализа статистических временных рядов, моделирования процессов, алгоритмизации, обработки количественных показателей с помощью SPSS.

Структура оптимального управления цифровыми сервисами в компаниях

Структура оптимального управления цифровыми сервисами в коммерческих компаниях проиллюстриро-

вана на рисунке 1. Изображение включает комплекс взаимосвязей и функций управленческих подсистем в жизненном цикле цифровых сервисов, что способствует обеспечению достаточно высокого уровня отраслевой конкурентоспособности.

Подсистема стратегического управления (ответственная за финансовое управление) организует осуществление процедур бенчмаркинга с учётом мониторинга современной рыночной ситуации, информирует об объёме финансовых вложений в сферы сервисных улучшений. В конечном итоге формируется пул значений параметров эффективности бизнеса с разбивкой на две группы: потенциальные и базовые. В последующем подсистема стратегического управления информирует остальные управленческие подсистемы о значениях параметров эффективности, относящихся к областям их функциональной деятельности.

Остальные управленческие подсистемы, ориентируясь на информацию от подсистемы стратегического управления, инициируют сервисные улучшения с передачей данных управлению непрерывными улучшениями (ответственный за создание проектного портфеля оптимизации цифровых сервисов). После того, как проектный портфель создан, управление непрерывными улучшениями формирует план сервисных улучшений для дальнейшего согласования. Затем происходит контроль его практического осуществления.

Создание оптимальной системы цифровых сервисов на основе ERP

Данная рекомендация автора подразумевает формирование оптимальной системы цифровых сервисов, которые осуществляют ключевые функции процессов (производственных, управленческих, процессов продаж). Значимыми выступают те бизнес-процессы, которые являются компонентами ядра ERP-платформы. Именно они обуславливают степень результативности интегрируемой системы.

Для того чтобы выявить уровень качества разработки оптимальной системы цифровых сервисов на основе ERP-платформы, целесообразно выбрать три параметра: общее количество взаимосвязей между цифровыми сервисами, объём наследуемых интегрируемой системой элементов ИТ-конфигурации и расходы.

Задача создания оптимальной системы цифровых сервисов на основе ERP-платформы обозначена в формулах (1) и (2):

$$\sum_{j=1}^m z_j x_j \rightarrow \min \tag{1}$$

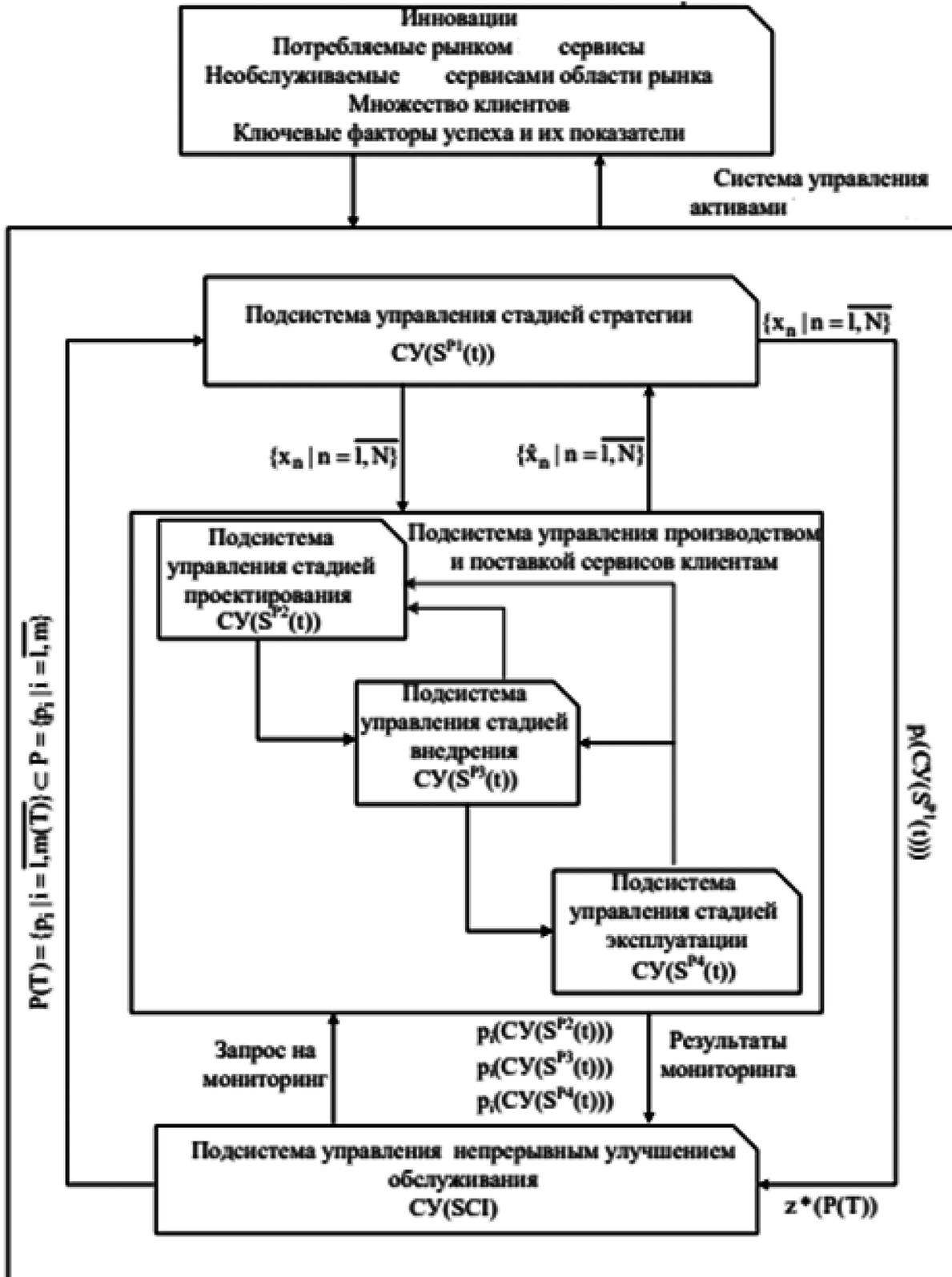


Рис. 1. Структура оптимального управления цифровыми сервисами в компаниях

$$\sum_{j=1}^m x_j \sum_{p=1}^m r_{jp} x_p \geq r^*; \sum_{j=1}^m c_j x_j \geq c^* \quad (2)$$

где x_j — расходы на создание оптимальной системы цифровых сервисов по j -ому процессу;

x_j — дамми-переменная: присваивается 0, если j -ый процесс не принадлежит множеству интеграционных процессов; присваивается 1, если j -ый процесс принадлежит множеству интеграционных процессов;

r_{jp} — общее количество взаимосвязей между цифровыми сервисами j -ых процессов и p -ых процессов;

x_p — дамми-переменная: присваивается 0, если p -ый процесс не принадлежит множеству интеграционных процессов; присваивается 1, если p -ый процесс принадлежит множеству интеграционных процессов;

c_j — элементы IT-конфигурации по j -ому процессу.

Задача создания оптимальной системы цифровых сервисов на основе ERP-платформы подразумевает поиск таких значений x_j , при которых общее количество взаимосвязей между цифровыми сервисами j -ых процессов и p -ых процессов составляет минимум r^* , а объём элементов IT-конфигурации, наследуемых платформой по j -ому процессу, составляет минимум c^* . При этом расходы разработки оптимальной системы цифровых сервисов на основе ERP-платформы должны быть минимизированы.

Представленная автором задача создания оптимальной системы цифровых сервисов на основе ERP-платформы решается при помощи методов целочисленного программирования.

Разработка плана сервисных улучшений — проектного портфеля оптимизации цифровых сервисов

Проектный портфель оптимизации цифровых сервисов разработан из общего объёма регулярно инициируемых процессов, цель которых состоит в обеспечении относительно высокого уровня отраслевой конкурентоспособности IT-организаций. Любый проект, входящий в портфель, можно охарактеризовать при помощи изменения некоторых индикаторов эффективности. На базе метода комплексной оценки эффективности можно выявить изменение комплексного индикатора результативности, исходя из формулы (3):

$$\Delta q(p_i) = \sum_{k=1}^K \gamma_k \sum_{l=1}^L \beta_{kl} \sum_{n=1}^N \alpha_{kl}^n \Delta \mu_{kl}^n(p_i) \quad (3)$$

где $\sum_{k=1}^K \gamma_k$ — веса по значимости этапов разработки проектного портфеля;

$\sum_{l=1}^L \beta_{kl}$ — веса по значимости процессов этапов разработки проектного портфеля;

$\sum_{n=1}^N \alpha_{kl}^n \Delta \mu_{kl}^n(p_i)$ — веса локальных индикаторов эффективности реализуемых процессов.

K — число этапов жизненного цикла;

L — объём осуществляемых процессов;

N — число параметров эффективности, характеризующих реализацию процесса.

Для данной задачи целесообразно ввести переменную формализации x_i — дамми-переменная: присваивается 0, если проект, включенный в портфель, не осуществляется; присваивается 1, если проект осуществляется на практике.

В качестве методов решения представленной задачи можно использовать как линейные, так и нелинейные.

Линейная задача разработки плана сервисных улучшений отражена в формулах (4), (5):

$$\Delta q(x) = \sum_{i=1}^m \Delta q(p_i) x_i \rightarrow \max \quad (4)$$

$$z(x) = \sum_{i=1}^m z(p_i) x_i \leq z^*; \Delta z(x) = \sum_{i=1}^m \Delta z_i x_i \leq \Delta z^* \quad (5)$$

В этой задаче учитывалось наличие операционных и инвестиционных издержек разработки плана сервисных улучшений. Однако при двух ограничениях не представляется возможным использовать программирование.

В случае построения нелинейной задачи создания плана сервисных улучшений переменной выступает удельный эффект (эффективность на 1 рубль издержек). Нелинейная задача создания плана сервисных улучшений отражена в формулах (6) и (7):

$$\Delta q(x) = \sum_{i=1}^m \Delta q(p_i) x_i \left(\sum_{i=1}^m (z(p_i) + \Delta z_i) x_i \right)^{-1} \rightarrow \max \quad (6)$$

$$z_{min}^* \leq z(x) = \sum_{i=1}^m z(p_i) x_i \leq z_{max}^* \quad (7)$$

$$\Delta z(x) = \sum_{i=1}^m \Delta z_i x_i \leq \Delta z^*$$

Постановка нелинейной задачи создания плана сервисных улучшений в том виде, в котором обозначено в формулах (6) и (7), подразумевает решение трёх пунктов:

1. Формирование зависимости операционных издержек и эффективности на 1 рубль издержек, что обозначено в формулах (8) и (9):

$$\Delta q^0(x^0) = \sum_{i=1}^{m^0} \Delta q(p_i) x_i \left(\sum_{i=1}^{m^0} (z(p_i) + \Delta z_i) x_i \right)^{-1} \rightarrow \max \quad (8)$$

$$z^0(x^0) = \sum_{i=1}^{m^0} \Delta z_i x_i \leq \Delta z^* \quad (9)$$

2. Формирование зависимости инвестиционных издержек и эффективности на 1 рубль издержек, что обозначено в формулах (10) и (11):

$$\Delta q^x(x^x) = \sum_{i=1}^{m^x} \Delta q(p_i) x_i \left(\sum_{i=1}^{m^x} (z(p_i) + \Delta z_i) x_i \right)^{-1} \rightarrow \max \quad (10)$$

$$z^x(x^x) = \sum_{i=1}^{m^x} \Delta z_i x_i \leq \Delta z^* \quad (11)$$

3. Произведение двух обозначенных выше зависимостей как оптимальное решение поставленной нелинейной задачи, которое отражено в формулах (12) и (13):

$$\Delta q(x) = (\Delta q^0(x^0) + \Delta q^x(x^x)) * (z^0(x^0) + \Delta z^0(x^0) + z^x(x^x))^{-1} \rightarrow \max \quad (12)$$

$$z_{min}^* \leq z(x) = z^0(x^0) + z^x(x^x) \leq z_{max}^* \quad (13)$$

Практическое использование представленных задач разработки плана сервисных улучшений — проектного портфеля оптимизации цифровых сервисов позволит повысить общую эффективность процесса планирования в среднем на 20 % при отсутствии изменения трудозатрат на практическое осуществление разработанного плана.

Оптимизация календарного планирования параллельного практического осуществления цифровых сервисов

Для того чтобы решить эту задачу, целесообразно принять:

1. Существует множество цифровых сервисов, позволяющих реализовывать процессы в коммерческих компаниях.
2. Для того чтобы сформировать один цифровой сервис, нужно создать проектную группу.

3. Формирование каждого цифрового сервиса подразумевает определенные временные затраты, а также существование функциональных взаимосвязей между компонентами IT-конфигурации.
4. Чем раньше будет сформирована проектная группа для отдельного цифрового сервиса, тем ниже размер трудозатрат, необходимый для разработки остальных цифровых сервисов.

Уровень эффективности последовательности работы цифровых сервисов по осуществляемым процессам является при помощи формулы (14):

$$q = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} r_{ji}^1 \left(T - \sum_{k=1}^1 t_{ji}^k \right) \quad (14)$$

где r_{ji}^1 — общее число функциональных взаимосвязей между элементами IT-конфигурации;

$\sum_{k=1}^1 t_{ji}^k$ — период окончания работ по созданию цифровых сервисов;

$T - \sum_{k=1}^1 t_{ji}^k$ — период реализации проектных решений, которые были созданы для конкретного цифрового сервиса.

Параллельное практическое осуществление цифровых сервисов возможно при использовании сетевой модели уровня эффективности последовательности работы цифровых сервисов по осуществляемым процессам и объёма элементов IT-конфигурации, наследуемых платформой по j-ому процессу. Пример сетевой модели обозначен на рисунке 2.

В соответствии с примером сетевой модели математически оптимизация календарного планирования параллельного практического осуществления цифровых сервисов описана в формуле (15):

$$q = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} r_{ji}^1 \left(T - \sum_{k=1}^1 t_{ji}^k \right) \rightarrow \max, \quad (15)$$

$$c = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} c_{ji} (T_{ji}) \leq c^*$$

Исходя из приведенной задачи, c^* ограничивает значение совокупных издержек на параллельное практическое осуществление цифровых сервисов.

Последовательность решения задач оптимального управления цифровыми сервисами

Последовательность решения задач оптимального управления цифровыми сервисами показана автором

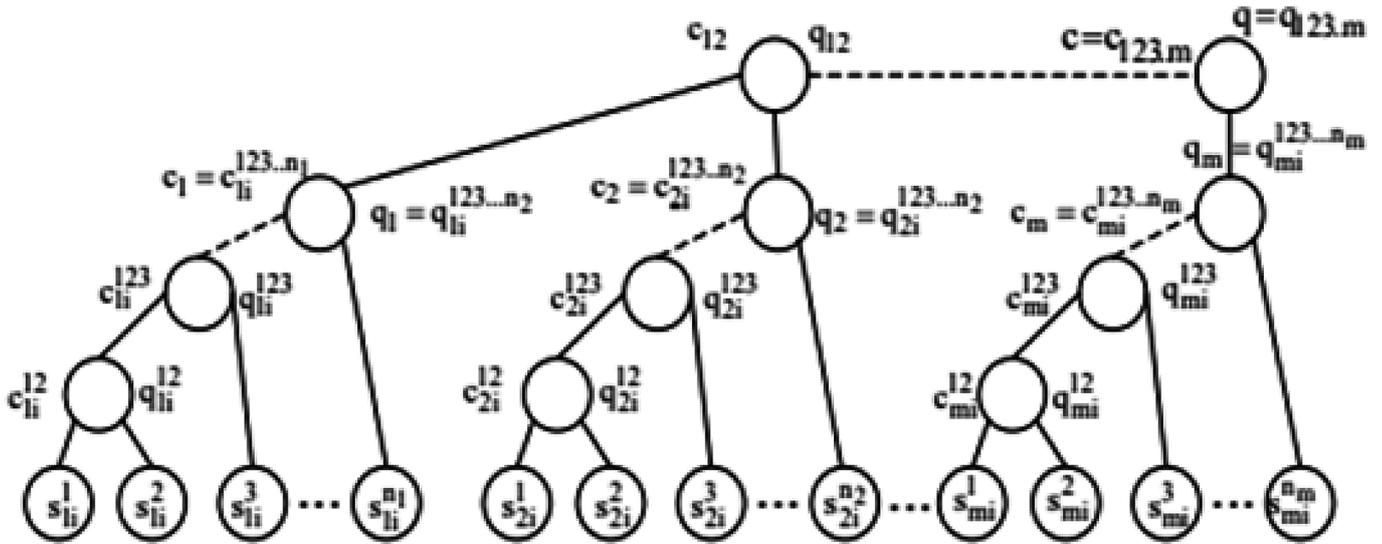


Рис. 2. Пример сетевой модели уровня эффективности последовательности работы цифровых сервисов по осуществляемым процессам и объёма элементов ИТ-конфигурации, наследуемых платформой по j-ому процессу [3]

на примере вопроса развития управления профессиональными компетенциями в работе цифровых сервисов. В данном случае происходит формирование нижеследующих моделей:

1. Формирование унифицированной модели обучения работе с цифровыми сервисами.

Основополагающим фактором, обуславливающим продолжительность промышленного использования цифровых сервисов, выступает уровень качества профессиональной подготовки менеджеров к совместной деятельности в управленческой системе. Безусловно, что продолжительность работы, а также возникшие потери от нарушений, причиной которых явились непрофессиональные действия менеджеров, можно в значительной степени минимизировать путём планомерного увеличения профессиональной компетентности менеджеров.

2. Создание механизма унифицированной управленческой модели профессиональных компетенций менеджеров.

Задача разработки оптимальной унифицированной модели обучения менеджеров цифровых сервисов описана в формулах (16), (17) и (18):

$$q = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} k_j q_{ji} x_{ji} \rightarrow \max \tag{16}$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} k_j c_{ji} x_{ji} \leq c^* \tag{17}$$

$$\sum_{i=1}^{n_j} k_j x_{ji} \geq k^*_j \tag{18}$$

где k_j — число менеджеров, реализующих j-ый процесс;

k^*_j — ограничение менеджера на минимальное число работников, которым необходимо обучение.

Приведенная задача подразумевает возможность двухкритериальной оптимизации управления. В данном случае целесообразно применить метод Парето и программирование.

3. Формирование персонифицированной модели обучения работе с цифровыми сервисами.

Основа формирования персонифицированной модели обучения работе с цифровыми сервисами аналогична задаче создания унифицированной модели обучения менеджеров работе с цифровыми сервисами.

Выводы

В исследовании были выявлены перспективные направления практического осуществления существующих ИТ-методологий в условиях имеющихся у бизнеса потребностей.

Представлены методы формализации и оптимального управления цифровыми сервисами в компаниях на основе их рациональной системы и структуры управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беликов Д.В. Применение сервисной модели для удовлетворения ИТ-потребностей предприятий // Вестник Самарского государственного экономического университета. — 2011. — №. 10. — С. 9–14.
2. Бубненко А.О., Власюк Е.А., Спендер Л.В., Трандофиров Д.А., Азаров В.Н. Моделирование основных бизнес-процессов управления ИТ-сервисами // Качество. Инновации. Образование. — 2016. — №. 5. — С. 47–61.
3. Зимин В.В., Кулаков С.М., Зимин А.В. К развитию концептуальных основ управления ИТ-деятельностью // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. — 2012. — Т. 10. — №. 4. — С. 29–39.
4. Козляев Е.И. Исследование современных достижений в области управления ИТ-услугами // Наука, общество, культура: проблемы и перспективы взаимодействия в современном мире. — 2022. — С. 88–95.
5. Лебедева С.Л., Максименко Д.В. Сервисно-процессный подход к управлению информационными технологиями в бизнесе // Вестник Академии. — 2010. — №. 4. — С. 76–79.
6. Маликов С.Н. Эволюция подходов к управлению информационными технологиями // Образовательные ресурсы и технологии. — 2016. — №. 4 (16). — С. 51–58.
7. Олейник А.И., Марков П.Н. Практика внедрения стандарта ITIL в компаниях // Наука и бизнес: пути развития. — 2010. — №. 1. — С. 49–51.
8. Смирнов А.В. ITSM-подход к управлению и организации ИТ-услуг как фактор повышения конкурентоспособности предприятия // Аллея науки. — 2018. — Т. 1. — №. 11. — С. 16–20.
9. Старков И.С., Старкова Н.О. Моделирование процесса управления изменениями в информационной системе предприятия // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). — 2008. — №. 25. — С. 153–157.

© Куровский Станислав Валерьевич (8917564@gmail.com); Мишин Денис Александрович (9651530@gmail.com);

Штыков Роман Александрович (ipmrgoman@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЛУЖБ МОНИТОРИНГА АКТИВНОСТИ В ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ WINDOWS И GNU LINUX

COMPARATIVE ANALYSIS OF ACTIVITY MONITORING SERVICES IN WINDOWS AND GNU LINUX OPERATING SYSTEMS

D. Mokhorev

Summary. This article explores the use of built-in logging services in operating systems as data sources for behavioral analysis. The aim of the research is to identify optimal data sources for creating a universal method for predicting the behavior of entities within an information system. To achieve this, the most common operating systems in Russia were identified, and a comparative analysis of the characteristics of their built-in logging tools was conducted. The results of the analysis allowed for the identification of the most suitable data sources for developing a universal method.

Keywords: behavior analytics, monitoring services, operating systems, Windows, Linux, logging, information security, behavior prediction.

Мохорев Дмитрий Евгеньевич

Аспирант, ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»

mohorevde@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассматривается использование встроенных служб логирования в операционных системах в качестве источников данных для поведенческого анализа. Целью исследования является определение оптимальных источников данных для создания универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе. Для этого были выявлены наиболее распространенные в России операционные системы и проведен сравнительный анализ характеристик встроенных в них средств логирования. Результаты анализа позволили определить наиболее подходящие источники данных для разработки универсального метода.

Ключевые слова: поведенческий анализ, службы мониторинга, операционные системы, Windows, Linux, логирование, информационная безопасность, прогнозирование поведения.

Введение

Анализ и прогнозирование поведения объектов в информационной системе является крайне актуальным методом мониторинга информационной безопасности. В связи ростом активности киберпреступников традиционные системы выявления угроз, основанные на сигнатурных методах, уступают в эффективности и возможностях обеспечения долгосрочной защищенности поведенческой аналитике. Это вызвано тем, что для поведенческого анализа, в отличие от сигнатурного, не требуется образец вредоносной программы, а выявление угроз выполняется с помощью обнаружения аномалий в активности. Поэтому данный метод позволяет детектировать ранее неизвестные вирусы и атаки. Это является важным перспективным преимуществом поведенческой аналитики, так как количество новых тактик злоумышленников растет [12, 13].

Поведенческий анализ основан на формировании базовой модели поведения для каждого наблюдаемого объекта информационной системы. Этим объектом могут быть любые элементы информационной системы: пользователь, рабочий компьютер, сервер, сетевое устройство, а также сегмент сети, группа пользователей или серверов. Выявление угроз осуществляется путем регистрации отклонений от базовой модели поведения. Таким образом возможно обнаружение большинства ти-

пов киберугроз: от инсайдерской деятельности до целевой атаки на инфраструктуру предприятия [11].

Базовая модель поведения составляется на основании сведений о состоянии наблюдаемого объекта. Источниками данных сведений являются записи журналов операционных систем и специальных средств мониторинга. От полноты и актуальности собранных сведений зависит качество и точность базовой модели поведения объекта. Поэтому сбор данных является одним из ключевых аспектов в построении системы поведенческой аналитики [13]. В рамках исследования, посвященного созданию универсальной модели прогнозирования поведения объектов в информационной системе, необходимо, в частности, определить состав данных, которые можно использовать для поведенческого анализа. Для этого в данной работе будут рассмотрены возможности мониторинга активности в различных операционных системах.

В настоящий момент нет опубликованных материалов, посвященных сравнению в контексте поведенческого анализа возможностей штатных средств мониторинга активности в различных операционных системах. Поэтому данное исследование является актуальным, а его результат может использоваться в рамках дальнейших работ по построению системы поведенческого анализа.

Методика исследования

Универсальный метод прогнозирования поведения объектов в информационной системе предполагает использование независимых от типа операционной системы данных. Для того, чтобы результат работы данного метода с различными операционными системами был однозначным, необходимо выбрать такой набор данных, который по содержанию и значению будет общим для всех систем. Таким образом, для множеств из всех сведений об активности, которые предоставляют операционные системы и средства мониторинга A , B , C , необходимо выбрать только те значения, которые удовлетворяют условию $A \cap B \cap C$.

Одним из основных источников сведений о состоянии наблюдаемых объектов является логирование в операционной системе. Логирование — это процесс записи информации о происходящих в системе событиях в специальный файл, называемый лог-файлом. Лог-файлы содержат информацию о работе приложений и системных компонентов, обнаруженных ошибках, а также данные о пользовательской активности [14]. Для определения подходящего набора данных необходимо изучить особенности логирования в разных операционных системах.

Таким образом, целью данного исследования является изучение характеристик встроенных средств логирования наиболее распространенных в российских информационных инфраструктурах операционных систем. Исходя из поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- определение наиболее распространенных в российских информационных инфраструктурах операционных систем;
- анализ возможностей встроенных средств логирования в выбранных операционных системах;
- составление сравнительной характеристики возможностей встроенных средств логирования в выбранных операционных системах.

Сравнительный анализ как метод исследования является мощным инструментом для выявления сходства и различия между выбранными объектами. В данном исследовании сравнительный анализ будет применен для выявления различий в функциональности средств журналирования событий разных операционных систем. Составленная сравнительная характеристика возможностей мониторинга активности в операционных системах будет применена для выбора оптимального набора данных для работы универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной инфраструктуре.

В соответствии с целью и задачами исследования выделены четыре направления, по которым будет выпол-

няться сравнение служб мониторинга в операционных системах: содержание собираемых данных, возможности настройки мониторинга, возможности обработки данных и производительность. Сравнительный анализ операционных систем по данным направлениям позволит изучить характеристики встроенных средств логирования в контексте мониторинга активности и создания универсального метода прогнозирования поведения пользователей в информационной системе.

Базовая модель поведения формируется на основании данных, предоставленных системой мониторинга в событиях. От полноты и сложности информации из событий зависит качество модели поведения и точность поведенческой аналитики. Большой объем сведений с более сложной структурой позволит создать более релевантную модель поведения. Поэтому содержание событий безопасности является важным аспектом построения системы поведенческой аналитики. В рамках данного направления определены следующие критерии: структура данных, поддерживаемые типы собираемых данных, уровень детализации событий, поддержка метаданных.

Не менее важными для эффективного анализа логов являются возможности обработки собранных данных. Предполагает удобство как ручного анализа логов, так и использование программных средств для получения необходимого результата. В данном направлении определены следующие критерии: методы фильтрации и поиска, читаемость событий и удобство для ручного анализа, инструменты и библиотеки для обработки.

Построение системы поведенческой аналитики является сложной и комплексной задачей, которая требует широкие возможности по настройке средств мониторинга. Важно рассмотреть аспекты удаленного логирования, способы расширения собираемых данных и особенности интеграции с другими системами. В направлении «возможности настройки мониторинга» определены следующие критерии: гибкость и расширяемость, возможности интеграции с другими системами и поддержка стандартов, поддержка удаленного логирования.

Заключительным этапом сравнение служб мониторинга активности в операционных системах является оценка их эффективности и производительности. Работа комплексной системы анализа предполагает сбор, обработку и хранение данных с большого количества устройств. Выделение большого объема ресурсов на обеспечение функционирования данной системы может повлиять на скорость работы всей инфраструктуры в целом. В рамках данного направления обозначены следующие критерии: производительность; объем данных.

Таким образом, сравнительный анализ возможностей служб мониторинга активности в операционных системах по обозначенным критериям позволит изучить характеристики встроенных средств логирования. С помощью полученных результатов будет возможно определить набор данных для создания и работы универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе.

Определение целевых операционных систем для сравнительного анализа

Универсальный метод анализа поведения объектов должен учитывать особенности российских информационных систем. Для этого необходимо определить наиболее распространенные в российских информационных инфраструктурах операционные системы. Согласно ежегодному исследованию РУССОФТ, посвященному индустрии программного обеспечения в России, в последние годы наблюдается снижение доли разрабатываемого ПО для операционных систем семейства MS Windows и рост популярности GNU Linux [1]. В 2023 году большинство опрошенных в рамках исследования организаций сообщили о том, что используют в работе и разрабатывают ПО для операционных систем семейства GNU Linux. Среди российских компаний, занимающихся разработкой ПО, в качестве наиболее популярных отмечены следующие операционные системы для стационарных компьютеров [1]:

- GNU Linux, 73 % опрошенных компаний;
- MS Windows, 68 % опрошенных компаний;
- Mac OS, 17 % опрошенных компаний.

Данная статистика отражает востребованность разработки ПО для каждой операционной системы на российском рынке. Поэтому она может использоваться для составления списка наиболее распространенных в российских компаниях операционных системах.

Для определения конкретных дистрибутивов Linux, находящихся в эксплуатации, можно использовать статистику пользователей сервиса Yandex Cloud [2]. Распределение дистрибутивов GNU Linux по частоте использования на данном сервисе можно отобразить следующим образом:

- Ubuntu, около 60 % пользователей;
- CentOS, около 19 % пользователей;
- Debian, 10 % пользователей.

Несмотря на то, что представленные сведения охватывают только облачный сегмент, можно предположить, что схожее распределение операционных систем сохраняется и в других сферах. Совместив данные из двух рассмотренных отчетов, можем подсчитать долю использования каждой из наиболее распространенных операционных систем в российских компаниях. Результаты представлены на рисунке 1.

Таким образом, с целью определения данных, подходящих для работы универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе, необходимо рассмотреть следующие операционные системы: Microsoft Windows, Ubuntu, CentOS, Debian. Для изучения возможностей стандартных средств мо-

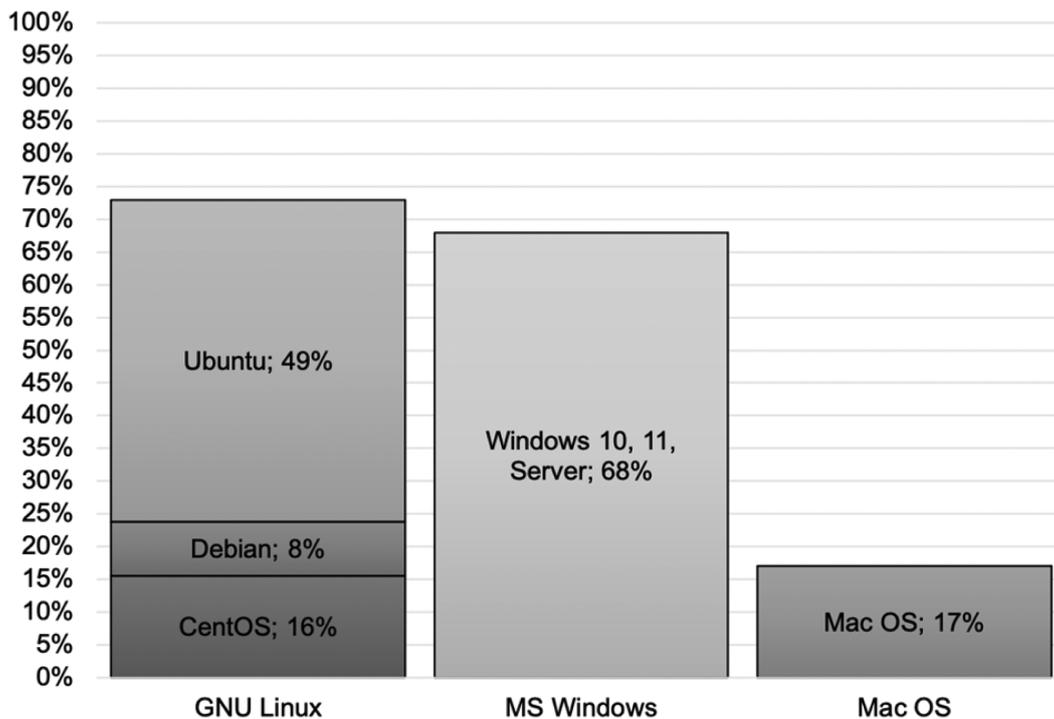


Рис. 1. Использование операционных систем в российских компаниях, источники: Ежегодное исследование РУССОФТ, Рейтинг популярности операционных систем Yandex Cloud [1, 2]

мониторинга активности в исследовании использовались следующие версии операционных систем: Microsoft Windows 10, Ubuntu 22.04.4, CentOS 7-2009, Debian 12.5.

При рассмотрении актуальных разработок в области поведенческой аналитики и математических теорий в работе «Разработка универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе: анализ актуальных разработок в области поведенческой аналитики и математических теорий» было отмечено, что большинство систем поведенческой аналитики направлены на решение узконаправленных задач в рамках одной операционной системы. Согласно полученным в данном исследовании результатам, в настоящий момент отсутствует явно лидирующая по частоте использования система, а большинство российских организаций используют в работе несколько операционных систем. Анализ популярности операционных систем в российских компаниях продемонстрировал актуальность разработки универсального метода поведенческого анализа в информационных системах.

Анализ службы журналирования событий Windows

Несмотря на снижение популярности в течение последних нескольких лет, операционные системы семейства MS Windows по-прежнему являются одним из основных инструментов организации работы в российских компаниях. В данном разделе будет проведен анализ возможностей стандартных средств мониторинга активности по обозначенным критериям.

В основе мониторинга активности в Microsoft Windows лежит Windows Event Log (служба журналирования событий Windows). Данная служба осуществляет регистрацию всех происходящих в операционной системе событий в ключе реестра «System32\Winevt\Logs\System.evtx» [14]. События регистрируются в специальных журнальных файлах, в которых содержится подробная информация о произошедшем событии, его времени и месте возникновения. Для просмотра данных журналов используется интерфейс Windows Event Viewer.

Содержание собираемых данных — структура данных

Windows Event Log хранит события в файлах журнала .evtx, расположенных в каталоге «System32\Winevt\Logs\». События разнесены в разные журналы в зависимости от источника и предназначения. Основными источниками сведений для поведенческой аналитики могут быть журналы Security, System, Application и Windows PowerShell. Логически события разделены на следующие категории:

1. Account Logon
2. Account Management
3. Directory Service
4. Logon/Logoff
5. Non Audit (Event Log)
6. Object Access
7. Policy Change
8. Privilege Use
9. Process Tracking
10. System
11. Uncategorized

События имеют сложную структуру. Она определена тегами, каждый из которых выделяет значение поля события, например имя компьютера обозначено тегом <Computer>, имя процесса — <ProcessName>.

Основным форматом экспорта логов является XML (eXtensible Markup Language) — разметочный формат, предназначенный для хранения и транспортировки данных. Таким образом логи Windows имеют сложную структуру, которая позволяет осуществлять тонкую настройку фильтров.

Содержание собираемых данных — поддерживаемые типы собираемых данных

Windows Event Log как и Journald имеет поддержку различных типов данных. С помощью атрибутов можно строковые, числовые, булевы значения, определить массивы и двоичные числа.

Содержание собираемых данных — уровень детализации событий

Уровень детализации в Windows Event Log варьируется в зависимости от типа события, но обычно включает время, источник и описание события. Сбор дополнительной информации требует настройки. Таким образом, сравнительно с Journald в штатной конфигурации Windows Event Log предоставляет меньше информации о системных событиях.

Содержание собираемых данных — поддержка метаданных

Как уже отмечено выше, события Windows Event Log имеют сложную структуру, поэтому поддерживают метаданные. Использование тегов позволяет более тонко настроить фильтры и выборку событий.

Возможности обработки — методы фильтрации и поиска

Windows Event Log имеет графический интерфейс с обширным функционалом фильтрации. В Event Viewer

возможна фильтрация по таким параметрам как время, уровень события, журналу, источнику событий, коду событий, категории задачи, ключевым словам пользователю и компьютеру. Также Event Viewer позволяет создавать поисковый запрос с помощью синтаксиса XML. Таким образом Windows Event Log предоставляет инструменты для фильтрации событий по различным критериям через Event Viewer.

Возможности обработки — читаемость событий и удобство для ручного анализа

Формат XML можно охарактеризовать как громоздкий и сложный для чтения, особенно с большим количеством вложенных элементов. Однако, отличительной особенностью Windows Event Log является его графический интерфейс Event Viewer. Это удобный инструмент для просмотра и управления логами. С помощью Event Viewer легко определить суть события, для этого не требуется знание синтаксиса и XML структуры файла. Windows Event Log в совокупности с Event Viewer является наиболее простой для ручного анализа логов службой.

Возможности обработки — инструменты и библиотеки для обработки

События Windows Event Log хорошо совместимы с программным обеспечением семейства Windows. Однако, для комбинированной работы с логами других форматов, например Linux или маршрутизаторов Cisco, Windows Event Log требуют затраты дополнительных ресурсов на парсинг.

Возможности обработки — гибкость и расширяемость

Windows Event Log, как и Journald, имеет высокую степень расширяемости благодаря сложной структуре логов и поддержке метаданных. Поэтому возможно добавление новых элементов и атрибутов без разрушения существующей структуры. Службы-клиенты могут настраивать собственные поля для передачи в службу сбора событий.

Возможности обработки — возможности интеграции с другими системами и поддержка стандартов

Windows Event Log соответствует стандартам Microsoft и широко используется в корпоративной среде. Благодаря широкому распространению операционных систем Windows большая часть программного обеспечения имеет поддержку логов Windows Event Log «по умолчанию». Для интеграции с другими системами существуют различные коннекторы с прописанными правилами обработки событий Windows. Формат экс-

порта логов XML используется в различных системах обмена данными, но менее популярен в современных веб-приложениях.

Возможности обработки — поддержка удаленного логирования

Для обеспечения удаленного логирования в Windows имеется специальная служба Windows Event Forwarding. Она позволяет настроить отправку событий на удаленные серверы.

Производительность

Несмотря на глубокую интеграцию Windows Event Log в операционную систему служба может расходовать большое количество вычислительной мощности. При большом количестве событий и в больших средах работа службы может нагружать систему и оказывать сильное влияние на производительность.

Производительность — объем данных

Обычно файлы формата XML занимают больше места, чем JSON и CSV. Это связано с большим количеством тегов и атрибутов, для обозначения которых требуются дополнительные символы. Пример события Windows Event Log представлен на рисунке 2.

Данный файл в формате экспорта XML занимает 536Б.

Службы мониторинга активности дистрибутивов GNU Linux

В настоящий момент в большинстве популярных дистрибутивов GNU Linux, в том числе в рассматриваемых в данной работе, используются две службы логирования: journald и rsyslog. Journald — это служба логирования, входящая в состав init-системы systemd. Systemd является системным менеджером и инициализатором для большинства дистрибутивов Linux. Systemd и Journald используются во всех актуальных версиях рассматриваемых в данном исследовании операционных систем семейства GNU Linux: Ubuntu, CentOS, Debian [5, 8, 10]. Rsyslog — системная служба UNIX-систем, предназначенная для сбора, хранения и перенаправления логов, основанная на протоколе syslog. Rsyslog ранее использовалась как основная служба логирования и остается на сегодняшний день актуальным инструментом для централизованного сбора логов с большого количества компьютеров. Это связано с тем, что в отличие от Journald, Rsyslog поддерживается во всех UNIX-системах, а не только в совместимых с Systemd [15].

Во всех рассматриваемых в исследовании операционных системах семейства GNU Linux используются

```

<Event xmlns="http://schemas.microsoft.com/win/2004/08/events/event">
  <System>
    <Provider Name="Microsoft-Windows-Security-Auditing" Guid="{54849625-5478-4991-
AF32-52823B30307B}" />
    <EventID>4624</EventID>
    <Version>1</Version>
    <Level>2</Level>
    <Task>12544</Task>
    <Opcode>0</Opcode>
    <Keywords>0x8020000000000000</Keywords>
    <TimeCreated SystemTime="2023-10-26T12:34:56.123456789Z" />
    <EventRecordID>1234567890abcdef</EventRecordID>
    <CorrelationActivityID>1234567890abcdef</CorrelationActivityID>
    <ExecutionProcessID>1234</ExecutionProcessID>
    <Channel>Security</Channel>
    <Computer>example-host</Computer>
    <Security />
  </System>
  <EventData>
    <Data Name="TargetUserName">user1</Data>
    <Data Name="TargetDomainName">EXAMPLE</Data>
    <Data Name="LogonType">2</Data>
    <Data Name="LogonProcessName">C:\Windows\System32\lsass.exe</Data>
    <Data Name="AuthenticationPackageName">Negotiate</Data>
    <Data Name="WorkstationName">example-host</Data>
    <Data Name="LogonGuid">1234567890abcdef</Data>
    <Data Name="TransmittedServices">0</Data>
    <Data Name="LmPackageName">NTLM</Data>
    <Data Name="KeyLength">0</Data>
    <Data Name="ProcessTokenSid">S-1-5-21-1234567890abcdef</Data>
    <Data Name="AuthenticationProcess">C:\Windows\System32\svchost.exe</Data>
    <Data Name="NetworkLogonId">1234567890abcdef</Data>
  </EventData>
</Event>

```

Рис. 2. Пример события Windows Event Log

идентичные системы логирования, а особенности дистрибутивов не связаны с процессом сбора и обработки логов [4, 6, 9]. В связи с этим анализ возможностей мониторинга активности в данных системах будет сосредоточен на изучении функционала служб Journald и Rsyslog. В последующих разделах будет проведен анализ возможностей данных средств мониторинга активности по обозначенным критериям.

Анализ службы Journald

Journald является частью наиболее распространенной в современных дистрибутивах GNU Linux init-

системы Systemd [17]. Эта служба используется для логирования событий «по умолчанию» — в штатных настройках операционных систем. В результате функционирования данной службы формируется база данных, состоящая из всех логов, собираемых в операционной системе. В отличие от Rsyslog, которая формирует логи в текстовый файл, Journald обогащает события специальными ключами и индексирует их. Такой подход позволяет детализировать поисковые запросы и быстрее находить нужные события. Однако, минусом формирования из логов базы данных и хранения их в таком виде является отсутствие совместимости с текстовыми форматами файлов, так как Journald записывает и хранит

данные в двоичном формате [16, с. 480]. В следствии этого, централизованный сбор логов с помощью Journald возможен только в случае, если все компьютеры в информационной системе поддерживают init-систему Systemd. Это существенно усложняет настройку мониторинга в сложных информационных системах с большим набором разных дистрибутивов Linux [17].

Все логи, собираемые в Journald в штатной конфигурации, хранятся в каталоге «/var/log/journal». Для просмотра логов используется служба Journalctl. Все события в данной базе разделены на уровни критичности и источники — службы, которые их зарегистрировали.

Содержание собираемых данных — структура данных

Особенностью Journald является организация логов в базу данных со сложной структурой. Записи в Journald имеют индексацию полей, которая позволяет создавать взаимосвязи и вложенные структуры, а также применять гибкие фильтры к данным. Также можно выделить два типа полей:

1. Trusted journal fields — недоступные для редактирования клиенту, который передает записи в журнал. Название таких полей начинается с символа подчеркивания, например, «_HOSTNAME» — имя хоста, на котором было записано сообщение, | «_SYSTEMD_UNIT» — юнит systemd, связанный с процессом.
2. User fields — остальные поля, которые может заполнять клиент, передающий запись в журнал. Название таких полей не выделяется символом подчеркивания. Примерами таких полей являются MESSAGE_ID — уникальный идентификатор сообщения, MESSAGE — основное сообщение журнала.

Все записи Journald хранит в бинарном виде, поэтому для ее чтения необходимо использовать функционал Journalctl. Основным форматом экспорта журнала является JSON (JavaScript Object Notation), поддерживающий структуру данных с помощью пары «ключ-значение».

Содержание собираемых данных — поддерживаемые типы собираемых данных

Journald обладает широкими возможностями по обработке различных типов данных. Служба поддерживает строковые значения, числовые значения, булевы значения, массивы, объекты. Таким образом Journald является гибкой для представления данных различного содержания.

Содержание собираемых данных — уровень детализации событий

Journald предоставляет высокую степень детализации событий. В штатной конфигурации в службе имеется

более ста полей различного формата, включая идентификаторы процессов, системные вызовы, временные метки и контекст выполнения. Таким образом, Journald предоставляет широкую картину активности системы для выявления аномалий и глубокого анализа поведения пользователей

Содержание собираемых данных — поддержка метаданных

Метаданные в Journald включены в структуру и проиндексированы таким образом, что через них возможно получать связанные события, например поиск по полю PID — Идентификатор процесса, к которому относится запись, позволит найти события одной активности.

Возможности обработки — методы фильтрации и поиска

Благодаря формированию поступающих событий в базу данных с индексированными полями Journald обладает широкими возможностями фильтрации. С помощью различных ключей поиска в инструменте анализа логов Journalctl возможна гибкая настройка поиска. Например, для выборки по времени поступления события в журнал можно использовать такие конструкции как «начиная с...», «до...», «в определенном промежутке между» и т.д. Широкий набор полей также способствует гибкости фильтрации, позволяя осуществлять поиск по контексту, например все события в сеансе пользователя с идентификатором сеанса _SYSTEMD_SESSION=session-2.scope: journalctl -u session-2.scope. Таким образом Journald поддерживает мощные команды для фильтрации и поиска по логам.

Возможности обработки — читаемость событий и удобство для ручного анализа

Несмотря на наличие такого мощного инструмента для анализа, как journalctl, логи Journald нельзя назвать легкими для чтения и интерпретации. Для понимания событий Journald необходимо знание синтаксиса journalctl и структуры самих данных. Настройка службы осуществляется с помощью редактирования конфигурационного файла. Также интерфейс командной строки уступает в удобстве графическому интерфейсу Windows Event Viewer.

Возможности обработки — инструменты и библиотеки для обработки

Основным форматом экспорта логов Journald является JSON, поэтому служба имеет поддержку большого количества совместимых с JSON инструментов и библиотек. Однако, в связи со сложной структурой самого файла, данный вариант экспорта журнала является ме-

нее универсальным, чем csv, который содержит простые строковые значения. Таким образом, для обработки данных, полученных из Journald, требуется больше ресурсов, чем для csv-файлов, полученных из Rsyslog.

Возможности обработки — гибкость и расширяемость

Journald обладает легко расширяемым форматом данных. Благодаря поддержке пары «ключ-значение» добавление полей в Journald не требует изменения структуры логов. Поэтому клиенты, которые направляют события в журнал, могут определять новые поля.

Возможности обработки — возможности интеграции с другими системами и поддержка стандартов

Journald обладает широкими возможностями интеграции с другими системами. Данная служба соответствует стандартам systemd, что делает ее совместимым со всеми современными Linux-дистрибутивами. Формат экспорта логов JSON также способствует универсальности данного решения, так как он хорошо совместим с современными веб-приложениями и API.

Возможности обработки — поддержка удаленного логирования

Journald поддерживает отправку логов на удаленные серверы через протоколы, такие как syslog (например, через Rsyslog или другие совместимые системы). Это позволяет интегрировать его с существующими системами логирования.

Производительность

Являясь частью init-системы Systemd, Journald хорошо оптимизирован для работы в системах Linux. Хранение логов в бинарном формате также снижает нагрузку на диск при записи и обработке логов, что позволяет эффективно индексировать запись и быстро извлекать данные. Таким образом благодаря своей архитектуре Journald может обрабатывать большое количество логов без значительного влияния на производительность.

Производительность — объем данных

С целью сравнения объемов записей, которые создаются Journald, Rsyslog и Windows Event Log, были сформированы события успеха входа пользователя в систему

```
{
  "_UID": 1000,
  "_GID": 1000,
  "_COMM": "sshd",
  "_PID": 12345,
  "_SYSTEMD_UNIT": "sshd.service",
  "MESSAGE": "User 'user1' logged in from 192.168.1.10",
  "PRIORITY": 6,
  "FACILITY": 4,
  "SYSLOG_IDENTIFIER": "sshd",
  "SOURCE_REALTIME_TIMESTAMP": "1690680779.123456789",
  "SOURCE_MONOTONIC_TIMESTAMP": "1690680779.123456789",
  "_BOOT_ID": "12345678-9abc-def0-1234-56789abcdef0",
  "MACHINE_ID": "12345678-9abc-def0-1234-56789abcdef0",
  "SYSTEMD_USER_UNIT": "user-1000.slice",
  "_CAP_EFFECTIVE": "0xffffffff",
  "LOGINUID": 1000,
  "USERNAME": "user1",
  "SOURCE_IP": "192.168.1.10",
  "CODE_FILE": "/usr/bin/sshd",
  "CODE_LINE": 1234,
  "CODE_FUNCTION": "auth_password"
}
```

Рис. 3. Пример события Journald

в форматах экспорта каждой службы. Все события содержат идентичную информацию, имеют структуру рассматриваемых журналов и записаны в форматах экспорта каждой службы JSON, CSV и XML для Journald, Rsyslog и Windows Event Log соответственно. Пример события Journald представлен на рисунке 3.

Размер данного файла JSON составляет 685Б. В связи с наличием сложной структуры лога JSON обычно занимает больше места по сравнению с CSV из-за использования дополнительных символов (например, фигурных скобок).

Анализ службы Rsyslog

Rsyslog в настоящий момент является одной из самых распространенных служб мониторинга активности. Важной особенностью Rsyslog является то, что он совместим со всеми дистрибутивами Linux. Это связано с тем, что данная служба основана на работе протокола syslog, поддержка которого включена в стандартной конфигурации всех операционных систем семейства Linux [15].

Rsyslog представляет набор правил, на основании которых поступающие на обработку логи распределяются в различные каталоги. Данные правила позволяют определить объекты логирования — службы, являющиеся источниками логов. Стандартным расположением лог-файлов Rsyslog является «/var/log». Логи, создаваемые Rsyslog хранятся в текстовом виде, поэтому для их просмотра не требуется специальная служба. Данная особенность позволяет использовать Rsyslog для централизованного сбора логов в любых информационных системах, в отличие от Journald.

Rsyslog имеет идентичный с Journald список уровней критичности.

Содержание собираемых данных — структура данных

В штатной конфигурации Rsyslog записывает логи в текстовом формате в отдельных на каждый источник файлов, расположенных в каталоге «/var/log». Основным форматом экспорта логов Rsyslog является CSV (Comma-Separated Values) — простой текстовый формат, который используется для хранения табличных данных, где каждая строка представляет собой запись, а значения в строке разделены запятыми (или другим разделителем, например, точкой с запятой). Поэтому структура лог-файла имеет простой табличный формат: каждая новая строка — отдельное событие в журнале, а поля обозначены символами-разделителями. Такой формат хорошо подходит для плоских данных, но не поддерживает вложенные структуры.

Содержание собираемых данных — поддерживаемые типы собираемых данных

В Rsyslog нет возможности задать тип записанных данных. Все логи Rsyslog хранятся в виде строк, поэтому для преобразования их в нужный тип требуется дополнительная обработка.

Содержание собираемых данных — уровень детализации событий

Уровень детализации логов Rsyslog зависит от конфигурации. Возможна гибкая настройка сбора и фильтрации событий, позволяющая выделить только необходимую информацию. Состав полей, которые формирует Rsyslog не стандартизирован, как например в Journald или Windows Event Log, что может привести к проблемам при парсинге логов и анализе.

Содержание собираемых данных — поддержка метаданных

Служба Rsyslog в штатной конфигурации не поддерживает работу с метаданными. Это связано с тем, что структура логов Rsyslog определяется в конфигурационном файле, который хранится отдельно от записей журнала.

Возможности обработки — методы фильтрации и поиска

Rsyslog позволяет настраивать фильтры на уровне конфигурации для выбора необходимых логов. В основе фильтрации записей в Rsyslog лежит текстовый поиск. Имеется поддержка регулярных выражений. Таким образом возможно создавать фильтры по имени хоста, времени, имени программы, содержанию сообщения и т.д.

Возможности обработки — читаемость событий и удобство для ручного анализа

Для понимания событий Rsyslog также как, как для событий Journald, необходимо знание структуры данных. Препятствием для чтения логов Rsyslog также является то, что структура хранится отдельно от самих записей. Поэтому, при наличии сложных данных, логи Rsyslog могут быть трудным для восприятия.

Инструменты и библиотеки для обработки

Текстовый формат данных является универсальным во всех информационных системах, поэтому логи Rsyslog обладают широкой совместимостью с различным программным обеспечением. Основным форматом экспорта логов Rsyslog является CSV, который поддерживается

```
2023-10-01T12:36:19.123456789Z,INFO,sshd,12345,sshd.service,User 'user1' logged in
from 192.168.1.10,1000,1000,12345678-9abc-def0-1234-56789abcdef0,12345678-9abc-def0-
1234-56789abcdef0,user-
1000.slice,0xffffffff,1000,user1,192.168.1.10,/usr/bin/sshd,1234,auth_password
```

Рис. 4. Пример события Rsvslog

Таблица 1.

Сравнительная характеристика служб мониторинга в операционных системах

Направление сравнения	Критерий	Microsoft Windows, Windows Event Log	Linux, Journald	Linux, Rsyslog
Содержание собираемых данных	Структура данных	Логи имеют сложную структуру, которая позволяет осуществлять тонкую настройку фильтров.	Логи имеют сложную структуру с помощью пары «ключ-значение», которая позволяет осуществлять тонкую настройку фильтров.	Имеет простой табличный формат, который хорошо подходит для плоских данных, но не поддерживает вложенные структуры.
	Поддерживаемые типы собираемых данных	Имеет поддержку различных типов данных через специальные теги	Имеет поддержку различных типов данных через ключи	Отсутствует возможность указать тип данных
	Уровень детализации событий	Зависит от типа события, обычно включает время, источник и описание события	Предоставляет высокую степень детализации событий	Зависит от конфигурации, набор полей не стандартизирован
	Поддержка метаданных	Поддерживает метаданные	Поддерживает метаданные	Поддержка метаданных отсутствует
Возможности обработки	Методы фильтрации и поиска	Имеет графический интерфейс для фильтрации событий, но есть ограничения по полям поиска	Поддерживает мощные команды для фильтрации и поиска по логам	Поддерживает текстовый поиск по полям
	Читаемость событий и удобство для ручного анализа	События понятны и легко читаются, имеет графический интерфейс для анализа	Для понимания событий необходимо знание синтаксиса journalctl и структуры данных	Для понимания событий необходимо знание синтаксиса и структуры данных
	Инструменты и библиотеки для обработки	Хорошо совместимы с программным обеспечением семейства Windows	Требует затраты дополнительных ресурсов для обработки	Поддерживается в большинстве языков программирования и инструментов для работы с данными
Возможности настройки мониторинга	Гибкость и расширяемость	Возможно добавление новых полей без внесения изменений в структуру данных	Возможно добавление новых полей без внесения изменений в структуру данных	Добавление новых полей требует изменение всей структуры данных
	Возможности интеграции с другими системами и поддержка стандартов	Соответствует стандартам Microsoft и широко используется в корпоративной среде	Соответствует стандартам systemd, что делает ее совместимым со всеми современными Linux-дистрибутивами	Поддерживает стандарты syslog, является универсальным и широко используется в различных системах
	Поддержка удаленного логирования	Поддерживается через специальную службу Windows Event Forwarding	Поддерживается через Syslog	Имеет встроенные функции удаленного логирования
Производительность	Производительность	При большом количестве событий может нагружать систему	Хранение логов в бинарном формате позволяет эффективно индексировать запись и быстро извлекать данные	При большом объеме данных требует существенно больших ресурсов, чем другие службы
	Объем данных	Занимает больше места, чем CSV из-за большого количества тегов и атрибутов.	Занимает больше места, чем CSV из-за большого количества символов, формирующих структуру	Имеет наименее объемный формат логов, так как хранит только данные и символы-разделители без метаданных

в большинстве языков программирования и инструментов для работы с данными (например, Excel).

Возможности обработки — гибкость и расширяемость

Структура данных Rsyslog не поддерживает пару «ключ-значение» и определяется только с помощью переноса строк и символов-разделителей, поэтому является менее гибкой, чем, например, структура Journald. Строгая последовательность полей при добавлении новых столбцов требует изменение всей структуры журнала. Также, расширение данных может привести к проблемам совместимости. Таким образом Rsyslog является менее гибким форматом сбора логов.

Возможности обработки — возможности интеграции с другими системами и поддержка стандартов

Syslog является общепризнанным стандартом ведения логов и во многих системах имеется его поддержка. Он используется при логировании на сетевом оборудовании, в базах данных и других системах. Rsyslog поддерживает стандарты syslog и может быть настроен для работы с различными форматами. Также, текстовый формат логов

делает способствует упрощению интеграции Rsyslog с другими системами.

Возможности обработки — поддержка удаленного логирования

Rsyslog имеет встроенные функции для отправки и получения логов по сети, включая поддержку различных протоколов, таких как TCP и UDP. Служба может как отправлять, так и принимать логи от других систем. Таким образом Rsyslog является мощным инструментом для централизованного логирования и широко используется в информационных инфраструктурах.

Производительность

Обработка данных журналов Rsyslog требует существенно больших ресурсов, чем, например для Journald. Это связано с тем, что Rsyslog использует текстовые файлы для хранения логов, что может привести к большому объему данных и увеличению нагрузки на диск по сравнению с бинарным форматом Journald.

Производительность — объем данных

Rsyslog имеет наименее объемный формат экспортируемых логов, так как хранит только данные и символы-

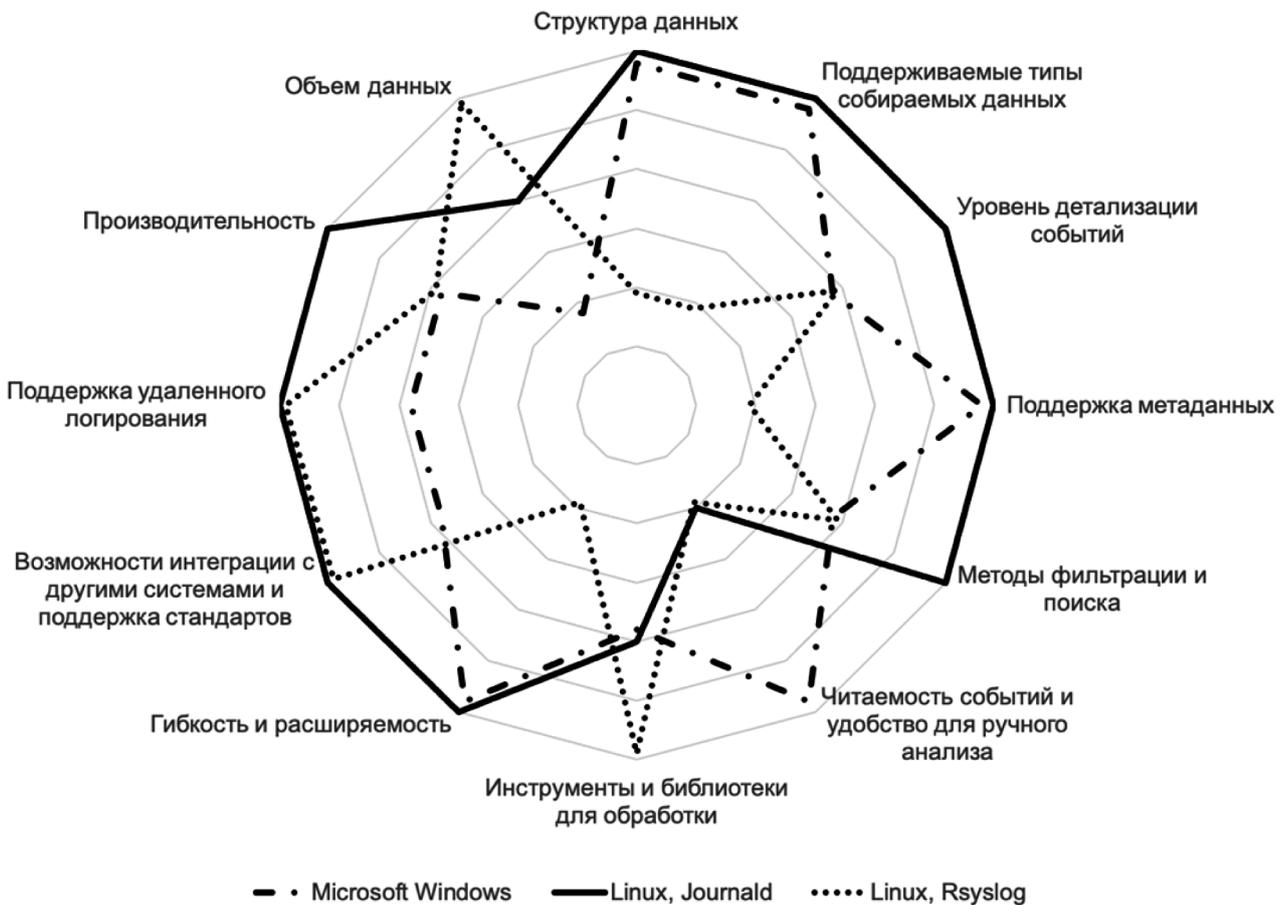


Рис. 5. Результаты сравнительного анализа служб мониторинга в операционных системах

разделители и не использует метаданные. Пример события Rsyslog представлен на рисунке 4.

Размер данного файла CSV составляет 268Б. Таким образом можно заключить, что экспортируемые логи Rsyslog имеют наименьший объем.

На основании обозначенных критериев проведен сравнительный анализ функциональности встроенных средств логирования наиболее распространенных в российских информационных инфраструктурах операционных систем. Рассмотрены возможности использования данных мониторинга в поведенческой аналитике. Составлена сравнительная характеристика, результаты анализа представлены в таблице 1.

Для наглядного представления результатов анализа в виде лепестковой диаграммы определены количественные значения каждого критерия со следующим весом:

- 1 — система мониторинга не поддерживает данный функционал / обладает базовым функционалом в данном направлении;
- 2 — система мониторинга обладает расширенным функционалом в данном направлении;
- 3 — система мониторинга имеет глубокий функционал в данном направлении.

Результаты анализа представлены в виде лепестковой диаграммы на рисунке 5.

Заключение

В результате исследования Microsoft Windows 10, Ubuntu, CentOS и Debian были определены как наиболее

распространенные в российских информационных инфраструктурах операционные системы. В контексте создания универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе проведен анализ служб мониторинга в данных операционных системах и составлена их сравнительная характеристика.

Рассмотренные системы мониторинга имеют различные преимущества и недостатки между собой. Так, служба журналирования событий Windows представляет наиболее удобный для анализа формат логов и графический интерфейс, но имеет больший объем хранимых данных, в сравнении с Rsyslog. Также результаты анализа демонстрируют, что информация, предоставляемая службами мониторинга активности в операционных системах, существенно различается по структуре, детализации и формату хранения. Качество базовой модели поведения зависит от подробности и точности информации, получаемой логов. Поэтому глубина детализации и возможности фильтрации являются ключевыми аспектами при выборе источника данных для анализа.

Для создания универсального метода анализа для множеств из всех сведений об активности, которые предоставляют операционные системы А, В, С, необходимо выбрать только те значения, которые удовлетворяют условию $A \cap B \cap C$. Наиболее точно сформировать набор данных из логов позволяет функционал служб Windows Event Log и Journald. Поэтому именно эти службы являются наиболее подходящими источниками данных для модели прогнозирования поведения объектов в информационной системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Индустрия программного обеспечения в России // Ежегодное исследование РУССОФТ. — 2023. — №20
2. Рейтинг популярности операционных систем // Yandex Cloud URL: <https://yandex.cloud/ru/blog/posts/2022/07/os-rating-january-june> (дата обращения: 25.02.2024).
3. Техническая документация по Windows // Microsoft URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/> (дата обращения: 25.02.2024).
4. CentOS Wiki URL: <https://wiki.centos.org/FrontPage.html> (дата обращения: 20.02.2024).
5. Debian — Универсальная операционная система URL: <https://www.debian.org/index.ru.html> (дата обращения: 02.03.2024).
6. Debian Wiki URL: <https://wiki.debian.org/ru/DebianRussian> (дата обращения: 02.03.2024).
7. Q3 2022 Threat Landscape: Insider Threat, The Trojan Horse of 2022
8. The CentOS Project URL: <https://www.centos.org> (дата обращения: 20.02.2024).
9. Ubuntu Wiki URL: <https://wiki.ubuntu.com> (дата обращения: 01.03.2024).
10. Ubuntu: Enterprise Open Source and Linux URL: <https://ubuntu.com> (дата обращения: 01.03.2024).
11. UEBA-системы: что это, принципы работы, обзор рынка // Инсайдер.рф URL: https://инсайдер.рф/news/ueba_sistemy/ (дата обращения: 31.01.2024).
12. 2023 Cyberthreat Defense Report // CyberEDGE URL: <https://cyber-edge.com/cdr/> (дата обращения: 15.02.2024).
13. 2023 Market Guide for Insider Risk Management Published 13 November 2023 // Gartner URL: <https://www.gartner.com/en/documents/4931631> (дата обращения: 14.02.2024).
14. Event Logging (Event Logging) // Microsoft Learn URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/eventlog/event-logging> (дата обращения: 19.02.2024).
15. Rsyslog Documentation // rsyslog.com URL: <https://www.rsyslog.com/doc/index.html> (дата обращения: 26.02.2024).
16. Уорд Б. Внутреннее устройство Linux. — 3-е изд. изд. — СПб.: Питер, 2022. — 480 с.
17. Systemd Documentation // systemd.io URL: <https://systemd.io> (дата обращения: 25.02.2024).

© Мохорев Дмитрий Евгеньевич (mohorevde@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ДТП НА ДОРОГАХ

Муратов Игорь Викторович

ведущий инженер, АО «Заслон», г. Санкт-Петербург
Garrymur312@gmail.com

INFORMATION SUPPORT FOR THE USE OF UAVS IN DETECTING ROAD ACCIDENTS

I. Muratov

Summary. It is noted that the use of UAVs is aimed at ensuring road safety, reducing road accidents and identifying offenses. Statistics on the most common types of offenses on the roads according to the State Traffic Safety Inspectorate (2023) are presented. A structural diagram of the information support of the UAV complex is given. The tasks solved by the elements of the UAV payload are defined. It is noted that the information support of UAVs for detecting road accidents covers a set of elements aimed at solving problems that require efficiency, territorial and spatial scale. It is concluded that the integration of information and data generated in various databases for traffic control and road safety contributes to the creation of a single integrated intelligent transport system capable of not only monitoring the territory, recording offenses, pursuing vehicles, but also combining disparate data from different geoinformation environments, government agencies and departments, modeling scenarios for the possible development of events, which allows effectively determining the need for measures by the State Traffic Safety Inspectorate.

Keywords: UAV, State Traffic Safety Inspectorate, automated workplace, target load, payload, vehicle.

Аннотация. Отмечено, что применение БПЛА направлено на обеспечение безопасности на дорогах, снижение дорожных происшествий и выявление правонарушений. Представлена статистика по наиболее распространенным видам правонарушений на дорогах по данным ГИБДД (2023 г.). Дана структурная схема информационного обеспечения комплекса БПЛА. Определены задачи, решаемые элементами полезной нагрузки БПЛА. Отмечено, что информационное обеспечение БПЛА для выявления ДТП на дорогах охватывает комплекс элементов, направленных на решение задач, требующих оперативности, территориальной и пространственной масштабности. Сделан вывод о том, что интеграция сведений и данных, формируемых в различных базах данных для контроля ПДД и обеспечения безопасности дорожного движения способствует созданию единой целостной интеллектуальной транспортной системы, способной не только осуществлять наблюдение за территорией, фиксацию правонарушений, преследование ТС, но объединять разобщенные данные из разных геоинформационных сред, государственных структур и ведомств, моделировать сценарии возможного развития событий, что позволяет эффективно определять необходимость проведения мероприятий со стороны ГИБДД.

Ключевые слова: БПЛА, ГИБДД, АРМ, целевая нагрузка, полезная нагрузка, транспортное средство.

В настоящее время постоянное увеличение количества автомобилей наиболее актуальным вопросом для ГИБДД остается обеспечение безопасности дорожного движения, снижение дорожных происшествий и правонарушений [1]. С этой целью надлежало обеспечить уровень безопасности требует внедрения высокотехнологичных средств наблюдения, фиксации и контроля разных участков дорог. Наиболее эффективным и распространенным является комплекс БПЛА, которые в центрах МВД выполняют разные задачи.

В работах исследователей применение БПЛА в профессиональной деятельности ГИБДД активно обсуждаются. Например, Д.А. Митюшин отмечает, что эффективным решением обеспечения безопасности на дорогах является создание специальных подразделений, в задачи которых входит управление работой БПЛА и контроль безопасности на дорогах.

По мнению Е.С. Дубовик, А.Ю. Соколова, применение БПЛА способствует повышению эффективности работы ГИБДД на месте ДТП и снижению правонарушений [1].

ГИБДД активно пользуются возможностями БПЛА для выявления нарушителей на дорогах и обеспечения безопасности. БПЛА работают как в городских районах, так и на труднодоступных территориях.

Применение БПЛА на дорогах как технического средства имеет недавнюю историю. Первым российским летательным аппаратом в целях обеспечения безопасности дорожного движения стал «1а/а 421-21 Серафим» (2015), основной функцией которого был розыск угнанных автомобилей, а также транспортных средств (далее ТС), которые укрываются на закрытых территориях. Чуть позже в его функции добавились распознавание некоторых видов нарушений ПДД, например, пересечение сплошной разметки, движение по обочине, выезд на полосу встречного движения.

В задачи БПЛА «2а/а 421-16Е» (2018) входило установление факта правонарушения, распознавание нарушителей на значительном удалении от камеры с возможностью определения их географических координат. Дистанционный режим регистрации правонарушений позволял

передавать информацию на наземный пост ГИБДД для принятия решения о дальнейших действиях [5, с. 106].

Массовое использование БПЛА для фиксации правонарушений на дорогах началось в 2021–2022 гг. Современные модели БПЛА обеспечены гиросtabilизированными платформами, которые позволяют четко отслеживать марку, модель, регистрационный номер автомобиля, включая возможность умышленной маскировки номера или его фрагментов. Имеющийся на вооружении комплекс целевой нагрузки может обеспечивать фиксацию значимой информации о ДТП (фото, видео, 3D данные) для определения криминалистической ситуации [6, с. 173].

К элементам полезной нагрузки относятся оптико-вычислительные и световые приборы, такие как лазерные сканеры, мультиспектральные и гиперспектральные камеры, вспышки, ИК-подсветки, которые решают

следующие задачи (Рис. 1):

Наполнение элементов полезной и целевой нагрузки направлено на получение объективных сведений, полученных в ходе фиксации и осмотра ДТП, а также моделирования дорожного происшествия и проведения диагностических экспертных оценок. Таким образом, устанавливают пространственно-временные сведения о ДТП, его участниках и обстоятельствах его совершения.

По данным ГИБДД, в 2023 году аварийность на дорогах повысилась на 4,5 %, в частности, произошло 132,4 тыс. ДТП, в которых погибли 14,5 тыс. человек (+2,3 %), а ранения получили 166,5 тыс. (+4,3 %).

При этом только каждое третье ДТП оформляется по европротоколу, в официальную статистику не входят случаи, когда водители решают вопрос на месте.



Рис. 1. Задачи, решаемые элементами полезной нагрузки БПЛА

При этом наиболее аварийными признаны Москва и Краснодарский край, самыми аварийными видами дорог — загородные трассы, самым аварийным днем недели — пятница, самым аварийным временем — промежуток с 17:00 до 20:00.

По статистике ГИБДД за 2023 год подавляющими видами правонарушений оказались (Рис. 2).

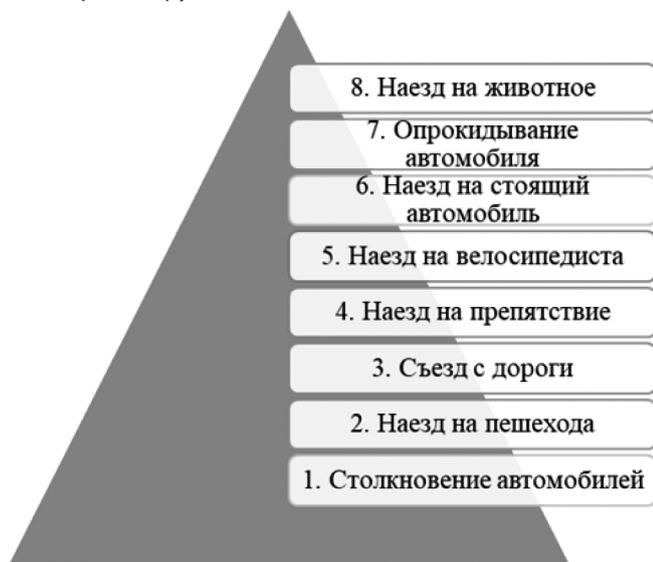


Рис. 2. Статистика по наиболее распространенным видам правонарушений на дорогах по данным ГИБДД (2023 г.)

На основе анализа аварийности дорог, наличия или отсутствия автоматизированных средств фиксации нарушений ПДД подбираются участки, где БПЛА осуществляют патрулирование закрепленной вблизи поста ДПС

территории и передают информацию оператору о правонарушениях, к которым относятся:

- выезд на встречную полосу, пересечение дорожной разметки;
- информирование нарядов ДПС о дорожной ситуации.

К основным техническим характеристикам БПЛА относятся (см. табл. 1).

Информационное обеспечение комплекса БПЛА на дорогах имеет следующую схему (Рис. 3).

Комплекс БПЛА включает:

- летательный аппарат;
- тепловизионная камера для ночной съемки и съемки в разных погодных условиях, что позволяет своевременно идентифицировать участников ДТП и преступников;
- видеодатчик, передающий данные полетной телеметрии: скорость, высоту полета, температуру воздуха на высоте, состояние аккумулятора, текущие координаты, а также все детали аварий, пути проезда к месту происшествия;
- автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора, установленное внутри транспортного средства поста контроля, где выполняется загрузка онлайн-видео с БПЛА, распознавание горизонтальной разметки и дорожных знаков, формирование фактической модели заданного участка дороги, загрузка описания проекта описания дорожного движения (ПОДД), сравнение ПОДД и фактической модели участка дороги, формирование протокола сравнения;
- транспортное средство поста контроля.

Таблица 1.

Основные технические характеристики БПЛА

Наименование характеристики	Значение
Летательный аппарат	
Размер (диаметр) рамы	1800 мм
Количество моторов	6
Время полета (на одном комплекте аккумуляторной батареи)	60 мин.
Максимальный взлетный вес	26 кг
Максимальная скорость	72 км/ч
Максимальная высота полета	100 м
Видеодатчик	
Максимальное расстояние до зоны контроля	200 м
Зум	30x
Подвес камеры	3-осевой стабилизатор
Рабочее напряжение	12 В
Вес камеры с подвесом	848 г
Обеспечивающие системы автомобиля поста	
Мощность системы электропитания	8 кВт
Зарядная станция для АКБ летательного аппарата	1
Количество одновременно заряжаемых АКБ	4 шт.
Мощность системы кондиционирования	9 кВт
Мощность системы отопления	3 кВт

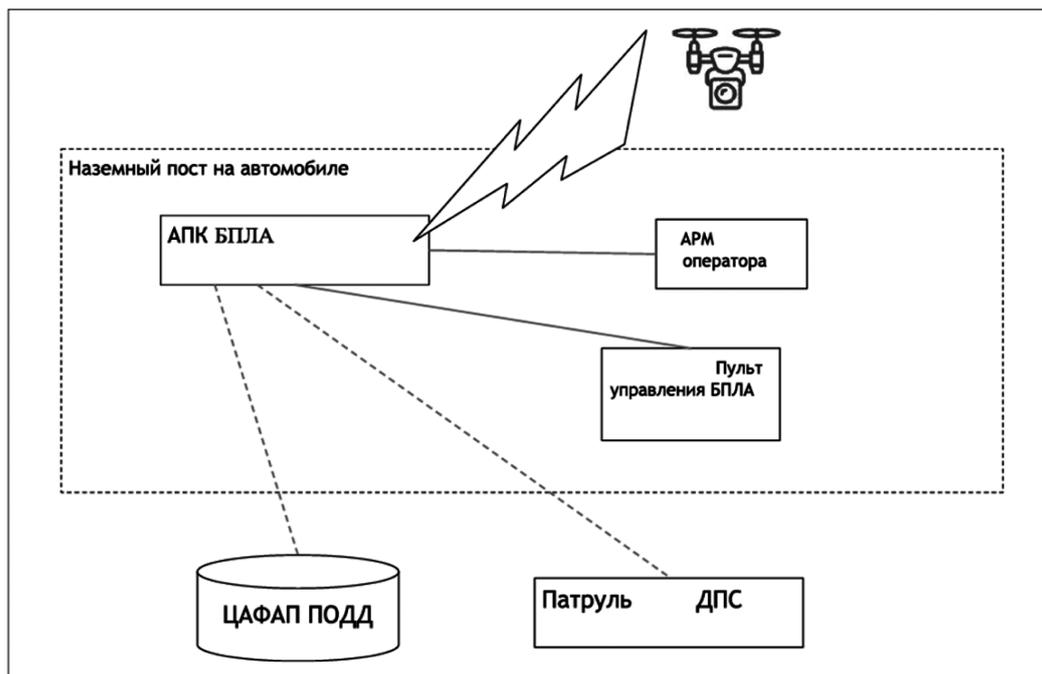


Рис. 3. Структурная схема информационного обеспечения комплекса БПЛА

АРМ оператора включает:

- вычислительный модуль, предназначенный для фиксации нарушений ПДД;
- пульт управления летательным аппаратом, позволяющий осуществлять удаленное управление подвесом камеры (поворот, стабилизация) и удаленное управление зумом камеры, автоматический взлет/посадка, самостоятельный полет на заданную точку, самостоятельный полет по проложенному маршруту, возможность зависания в необходимой точке на заданное время, самостоятельный возврат на место взлета по команде/таймеру, самостоятельный возврат на место взлета при разрыве связи с наземной станцией;
- АРМ приема и обработки информации о зафиксированных нарушениях ПДД, в функции которого входят: прием изображения в онлайн-режиме, обеспечение онлайн-доступа БПЛА к списку ТС, подлежащих контролю, при обнаружении автомобиля из данного списка сигнал передается патрулю ДПС, распознавание и «автозахват» автомобилей, нарушивших правила дорожного движения, и отслеживание нарушителя до момента его остановки патрулем ДПС, оценка обстановки в случае возникновения нештатных ситуаций (при недоступности места происшествия для патруля ДПС).

Транспортное средство поста контроля включает системы электроснабжения, отопления и кондиционирования.

Информация о правонарушении автоматически передается в Центр автоматизированной фиксации административных правонарушений в области дорожного движения ГИБДД (ЦАФАПОДД) для вынесения постановлений об административных правонарушениях либо передается посту ДПС для привлечения к административной ответственности конкретного нарушителя.

Таким образом, информационное обеспечение БПЛА для выявления ДТП на дорогах охватывает комплекс элементов, направленных на решение задач, требующих оперативности, территориальной и пространственной масштабируемости. При этом интеграция сведений и данных, формируемых в различных базах данных для контроля ПДД и обеспечения безопасности дорожного движения способствует созданию единой целостной интеллектуальной транспортной системы, способной не только осуществлять наблюдение за территорией, фиксацию правонарушений, преследование ТС, но объединять разобщенные данные из разных геоинформационных сред, государственных структур и ведомств, моделировать сценарии возможного развития событий, что позволяет эффективно определять необходимость проведения мероприятий со стороны ГИБДД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дронова О.Б. Применение современных беспилотных летательных аппаратов в целях обеспечения безопасности дорожного движения // Судебная экспертиза: прошлое, настоящее и взгляд в будущее. Материалы международной научно-практической конференции. Санкт-Петербургский университет МВД России. 2022. С. 86–91.
2. Дубовик Е.С., Соколова А.Ю. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов при проведении осмотра места происшествия по делам о ДТП // Актуальные вопросы юридических наук в современных условиях: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. №4. Санкт-Петербург, 2017. С. 74–76.
3. Зайцев В.В. Методика применения квадрокоптера при фото-видеофиксации обстановки места происшествия в труднодоступных местах // Судебная экспертиза. 2021. № 3(67). С. 116–123.
4. Заикин В.Ю., Лозовский Д.Н., Лозовская Н.Н. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов в деятельности ГИБДД // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2020. №4. С.102–104.
5. Костоготов, А.А. Синтез адаптивных алгоритмов оценки ориентации беспилотных транспортных средств с использованием интеллектуального нейросетевого идентификатора / А.А. Костоготов, А.С. Пеньков, В.О. Зехцер // Вестник РГУПС. 2022. № 1 (85). С. 186–194.
6. Мартынюк С.Н., Косовский В.Б. Использование беспилотных летательных аппаратов в обеспечении безопасности дорожного движения // Теория и практика общественного развития. 2021. №2 (156). С.50–53.
7. Меренков, А.О. Цифровые технологии в управлении мобильностью городов России / А.О. Меренков // Цифровая трансформация транспорта: проблемы и перспективы: матер. междунар. науч.-практ. конф., Москва, 28 сентября 2022 года — Москва: Российский университет транспорта, 2022. С. 204–206.
8. Туманов Е.А., Назаров С.В., Тарасенков Д.А., Головкин В.Д. Возможности применения беспилотных летательных аппаратов на службе Госавтоинспекции // Дневник науки. 2019. №12. С. 46–48.
9. Шепель Н.В., Клоков Е.А. О видах беспилотных летательных аппаратов, используемых как средство совершения преступлений // Сборник материалов криминалистических чтений. 2021. № 18. С. 85–86.

© Муратов Игорь Викторович (Garrymur312@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ

Муратов Игорь Викторович

ведущий инженер, АО «Заслон», г. Санкт-Петербург
Garrymur312@gmail.com

SYSTEM ANALYSIS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE FACILITIES IN A GEOINFORMATION ENVIRONMENT

I. Muratov

Summary. The article considers the system analysis of transport infrastructure facilities in a geoinformation environment. It is noted that the definition of the tasks and functions of the GIS system allows developing software modules (plugins) that allow working not only with cartographic and geodata, but also with specialized information that is attached to the map. An optimal list of plug-ins is presented that allows for a system analysis of transport infrastructure in a GIS. It is concluded that the analysis of transport infrastructure facilities in a GIS system, due to the availability of effective tools, allows for an analysis of development, natural obstacles to movement, which allows for the implementation of transport zoning of the city; analysis of factors determining transport accessibility and needs of specific areas of the city, assessment of the efficiency of the transport network, planning its development (taking into account the excess of the length of the most optimal route by more than 40 %), build optimal routes along streets and roads taking into account permitted directions of movement, turns, street capacity, etc., analysis, assessment and informing the population and specialists about accidents on the roads, visualize a geographic map for the population and transport.

Keywords: transport infrastructure, traffic flow, geographic information environment, automation, road surface.

Аннотация. В статье рассматривается системный анализ объектов транспортной инфраструктуры в геоинформационной среде. Отмечено, что определение задач и функций ГИС-системы позволяет разработать программные модули (плагины), позволяющие работать не только с картографическими и геоданными, но и со специализированной информацией, которая прикрепляется к карте. Представлен оптимальный перечень плагинов, который позволяет проводить системный анализ транспортной инфраструктуры в ГИС. Сделан вывод о том, что анализ объектов транспортной инфраструктуры в ГИС — системе благодаря наличию эффективных инструментов позволяет провести анализ застройки, естественных препятствий для передвижения, что позволяет выполнить транспортное районирование города; анализ факторов, определяющих транспортную доступность и потребность конкретных районов города, оценку эффективности транспортной сети, планирование ее развития (с учетом превышения длины самого оптимального маршрута более чем на 40 %), выстроить оптимальные маршруты по улицам и дорогам с учетом разрешенных направлений движения, поворотов, пропускной способности улиц и др., анализ, оценка и информирование населения и специалистов об аварийности на дорогах, визуализировать географическую карту для населения и транспорта.

Ключевые слова: транспортная инфраструктура, транспортный поток, геоинформационная среда, автоматизация, дорожное полотно.

Транспортная инфраструктура представляет собой идеальную среду для автоматизации посредством создания геоинформационной системы.

Территориальная распределенность приводит к необходимости управления транспортной сетью, в частности, навигации, расположения объектов инфраструктуры, отдельных участков автодорог, обеспечения безопасности дорожного движения и его регулирования, моделирования разных сценариев поведения на дорогах и т.д., что достигается за счет интеграции данных воздушного сканирования, аэрофотосъемки, геодезических измерений. С одной стороны, комплексная модель дороги в реальных географических координатах с реальными объектами инфраструктуры позволяет создать интерактивную визуализацию карты, с другой стороны, интеграция полученных данных связывает их в единую общую управляемую систему.

На текущий момент на рынке существует большое количество ГИС для управления транспортной системой города, региона. Что касается дальнейших перспектив развития ГИС-систем, то стоит обратиться к Э. Батлеру, согласно которому технологически ГИС будут развиваться посредством проектирования следующих баз данных (Рис. 1).

Соответственно, развитие геоинформационной среды подразумевает наличие пользователей, связанных разными ролями, а также разными задачами, в частности, от долгосрочного планирования до задач реально времени.

Геоинформационная система в транспортной среде направлена на выполнение основной задачи — автоматизации функций учета различных объектов городской инфраструктуры (дорог, домов, транспортных потоков, дорожных знаков, светофоров, маршрутов и остано-



Рис. 1. Проектирование баз данных ГИС-систем

вок общественного транспорта, а также возможностью включения специализированных функций, направленных на обеспечение безопасности движения, в частности, информация о ДТП, аварийных ситуациях и ремонтных работах.

Определение задач и функций ГИС-системы позволяет разработать программные модули (плагины), позволяющие работать не только с картографическими и геоданными, но и со специализированной информацией, которая прикрепляется к карте.

Рассмотрим оптимальный перечень плагинов, который позволяет проводить системный анализ транспортной инфраструктуры в ГИС.

Одним из основных плагинов является адресная карта города с привязкой геопространственных объектов и их описанием (названия областей, населенных пунктов, районов, улиц, домов, автодорог, перекрестков и т.д.).

Регулирование и управление транспортными потоками включает следующие плагины:

1. Поиск и построение разных видов маршрутов: общественного и личного транспорта, а также перевозки грузов. Построение маршрутов осуществляется с учетом следующих критериев:
 - расстояния от точки А до точки Б, протяженности;
 - времени проезда;
 - сложности;
 - возможных временных ограничений, например, аварийности, проведения ремонтных работ и т.д.

Оптимизация маршрутов становится одной из приоритетных задач в работе ГИС-систем. При этом сложность заключается в том, что данную задачу необходимо выполнить комплексно — проанализировать, система-

тизировать достаточно большой объем данных по всем видам транспорта: метро, автобусы, трамваи, троллейбусы, электрички. Мониторинг разных параметров объектов движения должен отражаться на карте и нести информационную функцию для пользователей.

Причинами превышения оптимальности маршрута становятся следующие факторы: низкий уровень связности, превышение пробега всех видов транспорта, что приводит к пробкам, шуму, загазованности.

Еще одним инструментом является мониторинг дорожного полотна и планирование ремонтных работ. Для ГИС — систем удачным решением является цветное обозначение участков автодорог, на которых проводятся ремонтные работы. Кроме того, автоматизация информации о данных видах работ, а также качества покрытия, транспортной нагрузки позволяет оптимизировать процесс актуализации данных и своевременно информировать водителей об изменениях на дорогах.

2. Расположение и мониторинг установленных дорожных знаков. Семантическая информация, представленная на карте, необходима для принятия решений о знаках, установленных на той или иной улице, знаках плохого качества, подлежащих замене (Рис. 2).
3. Учет данных О ДТП в режиме реального времени, что важно для анализа и оценки, а также информирования населения об аварийности на дорогах и на отдельных участках с целью повышения безопасности дорожного движения.

Плагин ГИС направлен на анализ и систематизацию данных на основе следующих критериев:

- 1) локация ДТП на карте с указанием сведений о транспортном средстве, участниках ДТП, потерпевших, а также степени аварийности на данном участке;

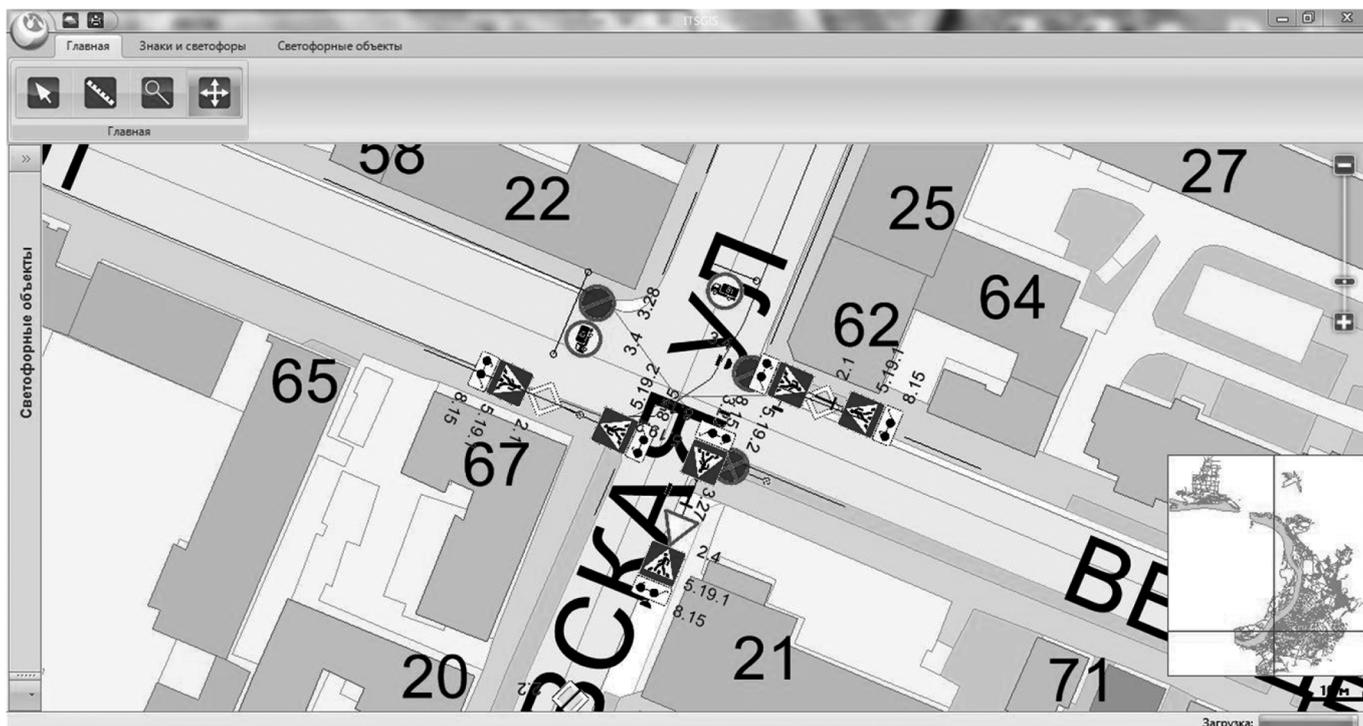


Рис. 2. Визуализация карты с плагином «Дислокация дорожных знаков» на примере ITGIS

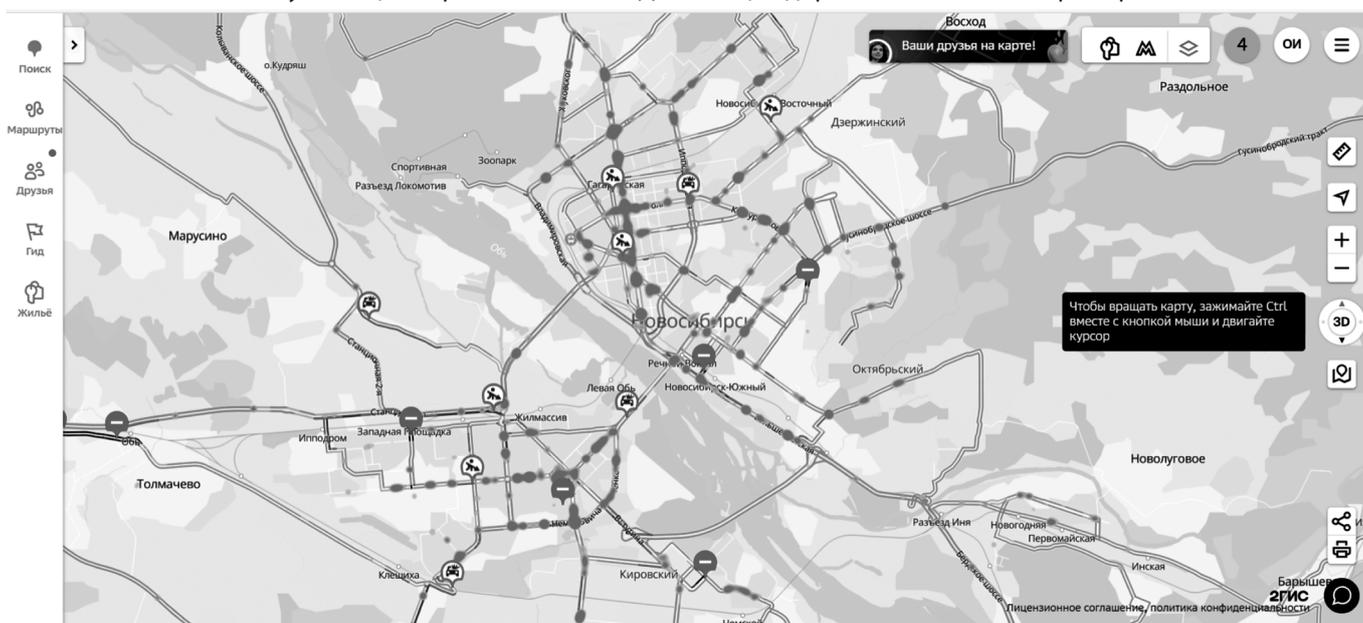


Рис. 3. Информация о ДТП и пробках в черте города (2GIS, пользовательская версия)

- 2) поиск аварийных участков дорог в режиме реального времени и за определенный период;
- 3) отображение очагов аварийности на дорогах;
- 4) возможность аналитики и составления отчетности.

Стоит отметить, что функция информирования о ДТП в пользовательской и профильной версиях может отличаться, например, сравним версии 2GIS для пользователей и ITSGIS, в котором присутствует отдельный плагин «ITSGIS. Учет ДТП» с возможностью просмотра как

в реальном времени, так и за отдельный период (Рис. 1 и Рис. 2).

Рассмотрим возможности аналогичного плагина для профильных организаций (Рис. 4–5)

Кроме того, отличительной возможностью данного плагина является систематизация и фильтрация данных: дата / время ДТП, местоположение ДТП, вид ДТП, количество потерпевших / раненых / погибших, причина ДТП, тип дороги по сравнению с общим количеством ДТП в городе, районе, на данном участке дороги.

Рис. 4. Заполненная карточка о ДТП (плагин «ITSGIS. Учет ДТП»)



Рис. 5. Интенсивность транспортных потоков

4. Одним из актуальных плагинов как для пользователей, так и для специалистов является отображение транспортных потоков (Рис. 5).

Визуализация данных позволяет анализировать интенсивность распределения транспорта по тем или иным участкам дороги с привязкой к числовому значению изменения (например, самый простой вариант для пользователей — это 5-балльная система, где 5 — самый высокий уровень интенсивности, что приводит к повышению пробок на дороге).

Специализированная версия ГИС транспортной системы направлена не только на визуализацию данных,

но прогнозирование возможной интенсивности и аварийности, разработку схем маршрутов и регулирования транспортных потоков, а также размещение светофорных объектов с учетом типа оборудования, адреса, режима работы.

Таким образом, анализ объектов транспортной инфраструктуры в ГИС-системе благодаря наличию эффективных инструментов позволяет решить следующие задачи:

- анализ застройки, естественных препятствий для передвижения, что позволяет выполнить транспортное районирование города;

— анализ факторов, определяющих транспортную доступность и потребность конкретных районов города (плотность населения, уровень обеспеченности населения автомобилями, наличие центров скопления населения, например, торговые и развлекательные центры, рынки, вокзалы и т.д.);

— оценка эффективности транспортной сети, планирование ее развития (с учетом превышения длины самого оптимального маршрута более чем на 40 %);

— выстраивание оптимальных маршрутов по улицам и дорогам с учетом разрешенных направлений движения, поворотов, пропускной способности улиц и др.;

— анализ, оценка и информирование населения и специалистов об аварийности на дорогах;

— составление интерактивной географической карты для населения и транспорта, например, Интернет-сервисы, сервисы геолокации, поиска маршрутов и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование // Славянский форум. — 2019. — 2(24). — С.7–12. 35.
2. Бучкин В.А. Цифровое моделирование и геоинформационное моделирование // Славянский форум. — 2020. — 2(28). — С.15–23.
3. Лотоцкий В.Л. Пространственное информационное моделирование // Образовательные ресурсы и технологии. — 2016. — 3 (15). — С.114–122.
4. Болбаков Р.Г., Мордвинов В.А., Сеницын А.В. Смешанная реальность как образовательный ресурс // Образовательные ресурсы и технологии. — 2020. — № 4 (33). — С. 7–16.
5. Михеева Т.И. Системный анализ объектов транспортной инфраструктуры в геоинформационной среде // Программные продукты и системы. 2018. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnyy-analiz-obektov-transportnoy-infrastruktury-v-geoinformatsionnoy-srede> (дата обращения: 20.10.2024).
6. Матчин В.Т., Рогов И.Е. Жизненный цикл программного обеспечения обучающих систем // Образовательные ресурсы и технологии. — 2020. — № 1 (30). — С. 49–57.
7. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. — 4(14). — С.198–203.
8. Цветков В.Я. Фактофиксирующие и интерпретирующие модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2016. — №9-3. — С.487.
9. Enjalbert S. et al. Human–Machine Interface in Transport Systems: An Industrial Overview for More Extended Rail Applications// Machines. — 2021. — Т. 9. — №. 2. — С. 36.
10. Gu Y. et al. WiONE: One-Shot Learning for Environment-Robust Device-Free User Authentication via Commodity Wi-Fi in Man–Machine System//IEEE Transactions on Computational Social Systems. — 2021. — Т. 8. — №. 3. — С. 630–642.

© Муратов Игорь Викторович (Garrymur312@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К МАТЕМАТИЧЕСКИМ ОЛИМПИАДАМ

Нуякшин Михаил Геннадьевич

Аспирант, Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Университет «Дубна»
(государственный университет «Дубна»)
mihail.nuyakshin@mail.ru

ONTOLOGICAL MODEL OF PROBLEMS FOR PREPARATION FOR MATHEMATICAL OLYMPIADS

M. Nuyakshin

Summary. The article is devoted to the creation of an ontological model for systematization and classification of mathematical problems intended for preparing schoolchildren for Olympiads. The main goal of the work is to optimize the learning process and increase the efficiency of student training through a structured presentation of problems and their attributes. The article examines in detail the components of the ontological model, such as topics, types of problems, difficulty levels, and skills required to solve them. A description of the Olympiad problem is proposed as a vector of parameters, where each component corresponds to a specific characteristic of the problem. Particular attention is paid to the integration of ontology with a relational database, which allows for the implementation of an adaptive approach to learning and provides flexible query customization for selecting problems. The general architecture of the system is presented, including tools for extracting and transforming data, as well as loading it into the ontological model.

Keywords: ontological model, mathematical problems, classification of problems, preparation for olympiads, adaptive learning, semantic queries, relational database.

Аннотация. Статья посвящена созданию онтологической модели для систематизации и классификации математических задач, предназначенных для подготовки школьников к олимпиадам. Основная цель работы — оптимизация процесса обучения и повышение эффективности подготовки учащихся за счёт структурированного представления задач и их атрибутов. В статье подробно рассмотрены компоненты онтологической модели, такие как темы, типы задач, уровни сложности и навыки, необходимые для их решения. Предложено описание олимпиадной задачи в виде вектора параметров, где каждый компонент соответствует определенной характеристике задачи. Особое внимание уделено интеграции онтологии с реляционной базой данных, что позволяет реализовать адаптивный подход к обучению и обеспечить гибкую настройку запросов для подбора задач. Представлена общая архитектура системы, включающая инструменты для извлечения и преобразования данных, а также их загрузки в онтологическую модель.

Ключевые слова: онтологическая модель, математические задачи, классификация задач, подготовка к олимпиадам, адаптивное обучение, семантические запросы, реляционная база данных.

Введение

Математические олимпиады играют важную роль в развитии интеллектуальных способностей школьников, стимулируя их логическое мышление, творческий подход к решению сложных задач и глубокое понимание математических концепций. Участие в олимпиадах способствует не только повышению уровня знаний учащихся, но и формированию у них навыков анализа, синтеза и аргументации, которые необходимы в современной науке и технике [1,2]. Подготовка к таким соревнованиям требует систематического изучения широкого спектра математических тем и освоения разнообразных методов решения задач.

Существует много интернет-ресурсов дистанционной подготовки к олимпиадам, где собраны задачи по темам, уровням сложности и типам решения [3–6]. Несмотря на разнообразие этих платформ, они в основном рассчитаны на работу с преподавателем, который определяет программу, темп занятий и консультирует ученика. Большое разнообразие тем и задач затрудняет создание структурированной программы подготовки школьников

к олимпиадам. Это может привести к неравномерному охвату тем, повторению одних и тех же типов задач или, наоборот, пропуску важных тем. Поэтому в процессе подготовки к олимпиаде важными являются процессы систематизации и эффективного подбора задач.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания инструментов, позволяющих оптимизировать процесс подготовки к математическим олимпиадам. Систематизация задач и их классификация по различным параметрам помогут более эффективно планировать учебный процесс, обеспечивая последовательное и всестороннее развитие математических способностей учащихся.

Целью данной статьи является создание онтологической модели математических задач, предназначенной для подготовки к олимпиадам. Предложенная модель позволит структурировать знания в области математических задач, устанавливая четкие взаимосвязи между ключевыми понятиями и характеристиками задач, такими как тема, уровень сложности, необходимые навыки и методы решения.

Применение онтологии в образовании

Онтология — формализованное описание предметной области, включающее в себя понятия, их свойства и отношения между ними. Она служит инструментом для систематизации знаний, обеспечивая единое понимание терминологии и структуры данных в предметной области. Применение онтологии в образовательных системах позволяет создать структурированное представление учебного материала, методов обучения и оценки знаний, что способствует эффективному обмену информацией между различными компонентами образовательной среды, улучшает навигацию в условиях повышенного объема информации [7,8]. Внедрение онтологий в образовательный процесс позволяет реализовать более динамичные, интерактивные и персонализированные формы обучения. Интеграция онтологий в образовательные системы способствует повышению качества образования путем обеспечения точности, актуальности и полноты учебных материалов. Адаптивные обучающие системы, основанные на онтологиях, могут предоставлять материалы, максимально соответствующие текущим образовательным стандартам и требованиям [9,10].

1. Формализация параметров и онтологическая модель олимпиадных задач

1.1. Онтологическая модель олимпиадных задач

Математическую модель онтологии олимпиадных задач можно представить следующим образом:

$$M = \langle C, R, A, P, D \rangle.$$

Основными компонентами являются:

- $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ — множество понятий (концептов), где $n \in \mathbb{N}$ — количество понятий. Для подготовки к математическим олимпиадам ключевыми концептами являются «задача», «тема», «уровень сложности», «метод решения», «тип задачи» и т. д. Эти понятия формируют основу онтологической модели и определяют структуру всех элементов системы.
- $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ — множество отношений (связей) между понятиями, где $m \in \mathbb{M}$ — количество отношений. Отношения определяют, как различные концепты взаимодействуют друг с другом. Например, отношения могут описывать связь «задача принадлежит теме» или «задача решается определенным методом». Отношения между концептами нужны для понимания структуры знаний и логики взаимодействия элементов в системе.
- $A = \{a_1, a_2, \dots, a_w\}$ — множество атрибутов (свойств), которые уточняют характеристики понятий, где $w \in \mathbb{W}$ — количество атрибутов. Например, у задачи могут быть такие свойства, как

«уровень сложности», «автор», «год создания», «количество баллов» и т. д.

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_t\}$ — множество конкретных значений атрибутов, где $t \in \mathbb{T}$ — количество свойств. Например, у атрибута «количество баллов» может быть множество значений целых чисел от 1 до 10 баллов, а у атрибута «уровень сложности» — от 1 до 3 (низкий, средний и высокий уровни). Множество P определяет все допустимые значения для атрибутов, что позволяет описывать конкретные экземпляры концептов (понятий).
- $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ множество типов отношений, где $k \in \mathbb{K}$ — количество типов отношений. Типы отношений определяют шаблоны возможных связей между концептами. Например, для задач по алгебре могут быть виды отношений: «Задача является подзадачей», «Задача требует использования», «Задачи эквивалентны» и т. д. Это позволяет структурировать и классифицировать возможные типы взаимодействий в системе.

1.2. Вектор параметров олимпиадной задачи

Любая олимпиадная задача может быть описана в виде вектора параметров P , где каждый компонент соответствует определенной характеристике задачи: $P = \{C_1, C_2, \dots, C_n, A_1, A_2, \dots, A_w\}$. Здесь C_i — концепты, описывающие основные категории задачи, такие как «тема задачи» или «тип задачи»; A_i — атрибуты, уточняющие конкретные свойства задачи, такие как «уровень сложности» или «количество баллов».

Пример вектора параметров для конкретной задачи: $P = \{C_1, C_2, C_3, A_1, A_3, A_5\}$. Здесь $C_1 =$ геометрия, $C_2 =$ доказательство, $C_3 =$ графическое, $A_1 = 3$ (высокий уровень сложности), $A_3 = 8$ (баллов), $A_5 =$ Иванов И.И. (автор).

Таким образом, вектор параметров задачи представляет собой набор конкретных значений, описывающих ключевые характеристики задачи в рамках онтологической модели. Онтологическая модель M определяет общую структуру и связи между концептами, атрибутами и их значениями, что позволяет использовать её для систематического описания и анализа задач, а также для автоматизации процесса подготовки к олимпиадам.

2. Обоснование выбора редактора онтологий

Для разработки онтологии задач по математике, включая олимпиады, необходимо выбрать инструмент, обеспечивающий достаточную гибкость и функциональность. Рассмотрим два наиболее распространенных редактора онтологий Protégé (<https://protege.stanford.edu/>) и Fluent Editor (<https://www.cognitum.eu/semantics/>)

fluenteditor/). Сравним их по основным характеристикам, представленным в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнение редакторов онтологий

Редактор	Достоинства	Недостатки
Protégé	<ul style="list-style-type: none"> — Поддержка стандартов OWL, RDF, RDFS, XML Schema. — Кроссплатформенность и наличие веб-версии. — Расширяемость за счет плагинов. — Визуальная среда для работы с онтологиями. — Поддержка сложных логических выражений и ограничений. 	<ul style="list-style-type: none"> — Сложный интерфейс для начинающих пользователей. — Требуется знание формальных языков онтологий (OWL).
Fluent Editor	<ul style="list-style-type: none"> — Использование контролируемого естественного языка для моделирования онтологий. — Удобный редактор Predictive Editor. — Возможность создания активных правил на C#. — Интеграция с другими инструментами, включая Protégé. 	<ul style="list-style-type: none"> — Ограниченная платформа (только Windows). — Меньше визуальных инструментов для работы с онтологиями. — Нет веб-версии.

В результате сравнения редактор Protégé был выбран в качестве основного инструмента для разработки онтологии олимпиадных задач. Protégé поддерживает ключевые стандарты для описания ресурсов в веб-пространстве: OWL (Web Ontology Language) [11] и RDF (Resource Description Framework) [12], необходимых для создания сложных логических структур. Это решающий фактор для точного представления и классификации математических задач. Кроме того, Protégé обладает расширяемой архитектурой благодаря системе плагинов, что позволяет добавлять новые функции и осуществлять интеграцию с другими программными продуктами. Protégé способствует более эффективной совместной работе над онтологиями в рамках больших проектов благодаря наличию веб-версии.

Несмотря на то, что Fluent Editor также имеет определенные преимущества (удобство использования и поддержку контролируемого естественного языка), его функциональные возможности и поддержка различных платформ ограничены по сравнению с Protégé.

3. Фрагмент онтологической модели олимпиадных задач: структура тем и уровней сложности

Рассмотрим фрагмент онтологической модели, описывающей структуру олимпиадных задач по математике (рис. 1). Онтология систематизирует задачи по таким параметрам, как тема, тип задачи, метод решения, необхо-

димые навыки для решения задачи и уровень сложности. Такой подход обеспечивает создание структурированной базы данных задач, упрощает их выбор и классификацию для эффективной подготовки учащихся.

На онтологической модели олимпиадных задач (иерархическая структура), показанной на рис. 1 можно выделить следующие концепты:

- «Тема задачи» включает подкатегории «Алгебра и анализ» и «Алгебраические уравнения». В свою очередь, «Алгебра и анализ» охватывает задачи, связанные с темами «Анализ функций», «Алгебраические преобразования», «Доказательство неравенств» и другие, а «Алгебраические уравнения» содержит подкатегории «Квадратные уравнения», «Системы уравнений», «Минимальные задачи» и т. д. Эти концепты определяют основное содержание задач и являются отправной точкой для классификации задач в онтологии.
- Для быстрого определения метода решения задачи введен концепт «Тип задачи», который указывает на формат или структуру задачи и включает подконцепты «Построение», «Доказательство», «Вычисление», «Анализ данных».
- Концепт «Тип решения задачи» описывает, каким способом решается задача, и включает подкатегории «Аналитический», «Графический», «Комбинаторный», «Метод перебора» и другие. Связь задачи с определенным типом решения позволяет классифицировать ее по подходам и методам, используемым при решении.
- Концепт «Уровень сложности» определяет степень сложности («Начальный», «Средний», «Высокий»), что позволяет подобрать задачи, соответствующие подготовке учащегося и требуемым навыкам.
- Концепт «Навыки» включает «Геометрические построения», «Знание теорем», «Комбинаторное мышление», «Системный анализ» и другие и позволяет определить какой подготовки требует решение задачи и на какие аспекты следует обратить внимание при обучении.

Между концептами онтологии установлены отношения, которые отображают логику взаимодействия и иерархию знаний. Например, между концептами «Тип задачи» и «Тип решения»: для каждой категории задачи определены подходящие методы решения, что позволяет оптимизировать выбор задач для тренировки определенных навыков.

На рис. 2 показан онтологический граф, отображающий структуру взаимосвязей между различными концептами и атрибутами, описывающими конкретную задачу («Задача_1») в контексте онтологии олимпиадных задач.



Рис. 1. Фрагмент дерева олимпиадных задач (Protégé)

Представленный фрагмент онтологической модели демонстрирует, как конкретная «Задача_1» интегрируется в общую систему знаний и какие характеристики ей присущи.

Разработанная онтологическая модель обеспечивает эффективную структуру для описания, классификации и выбора задач по различным критериям. Это позволяет систематизировать процесс подготовки учащихся к математическим олимпиадам, улучшая качество обучения и облегчая процесс подбора задач для различных уровней и тем.

В настоящее время продолжается работа по развитию и наполнению онтологии олимпиадных математических задач.

4. Взаимодействие онтологии с реляционной базой данных задач

Для эффективной подготовки школьников к олимпиадам необходимо использовать интеграцию онтологической модели, формализующей знания, и реляционной базы данных (БД), в которой хранятся конкретные экземпляры задач с их условиями, решениями и характеристиками, а также информация о ходе подготовки каждого ученика, включая его сильные и слабые стороны. Такая система поддерживает адаптивное обучение, автоматически подбирая задачи в зависимости от текущих знаний и навыков ученика, помогая сфокусироваться на пробелах и развивать сильные стороны. Это позволяет создавать индивидуализированные программы подготовки, обеспечивая оптимальный темп и содержание учебного процесса для достижения высоких результатов на олимпиадах. Для автоматического связывания свойств задачи из реляционной БД с онтологией используются специальные инструменты и процессы маппинга, преобразо-

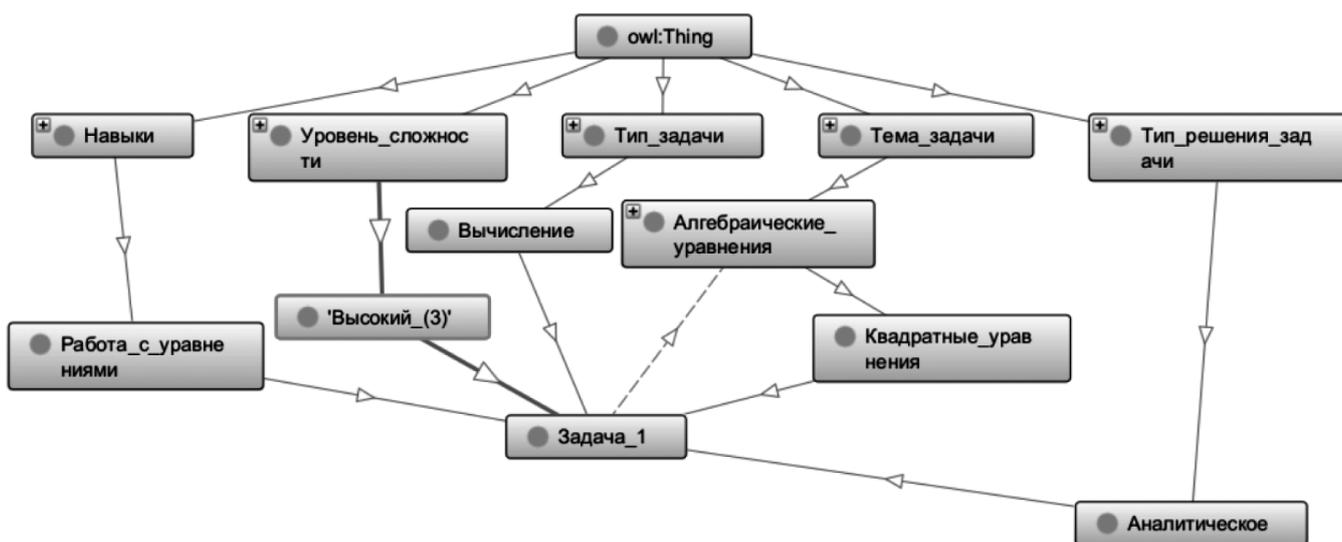


Рис. 2. Фрагмент онтологической модели (онтограф Задача_1)

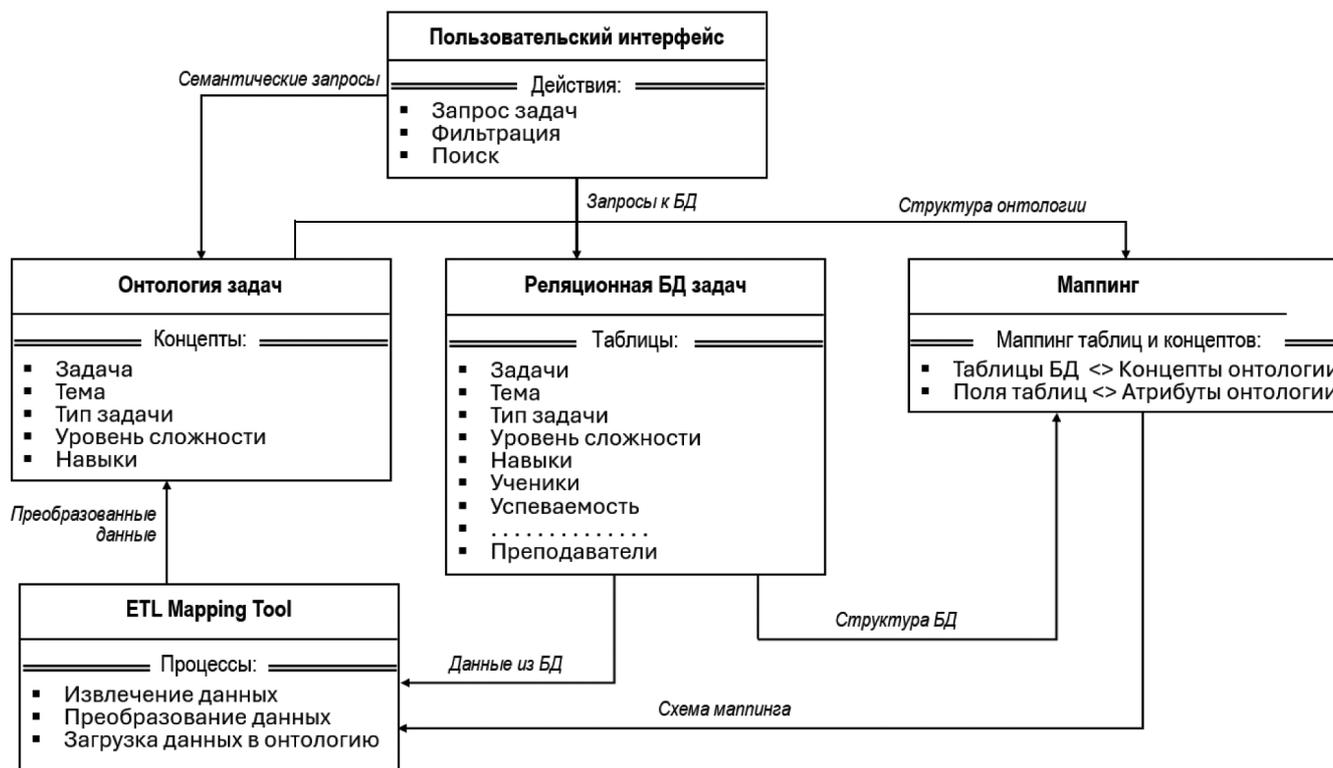


Рис. 3. Структурная схема взаимодействия реляционной базы данных и онтологии, отображающая процесс синхронизации и преобразования данных

вания и синхронизации данных (рис. 3). Это позволяет обеспечить согласованность данных между БД и онтологией, а также использовать семантические возможности онтологии для расширенного поиска и анализа задач [13].

Для создания маппинга между реляционной базой данных и онтологией используется инструмент Ontop, который позволяет выполнять виртуализацию данных реляционной базы данных в виде триплетов RDF без необходимости их предварительной конвертации [14]. С помощью Ontop можно создавать виртуальные триплеты, используя существующую реляционную базу данных и маппинг между её таблицами и онтологией. Запросы к базе данных можно выполнять с помощью SPARQL, как если бы данные уже были в формате RDF.

Выводы

1. Разработанная онтологическая модель, дополненная представлением олимпиадной за-

дачи в виде вектора параметров, где каждый компонент отражает определённую характеристику задачи, обеспечивает чёткую структуру для классификации и подбора математических задач. Внедрение этой модели в образовательные системы упростит процесс подбора задач по различным уровням и темам, что в свою очередь повысит качество подготовки школьников к олимпиадам.

2. Интеграция онтологии с реляционной базой данных позволяет автоматизировать и адаптировать процесс обучения под потребности конкретных учеников, обеспечивая индивидуальный подход к каждому.
3. Использование таких инструментов, как Protégé и Ontop, делает возможным не только создание, но и эффективное использование онтологий для выполнения сложных запросов и анализа данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панишева О.В., Логинов А.В. Открытая олимпиада как средство математического просвещения школьников // Вестник Московского университета. Серия 20. Педагогическое образование. 2019. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otkrytaya-olimpiada-kak-sredstvo-matematicheskogo-prosvescheniya-shkolnikov> (дата обращения: 24.09.2024).
2. Агаханов Н.Х., Марчукова О.Г., Подлипский О.К. О современных тенденциях в подготовке школьников к математическим олимпиадам // Вопросы образования. 2021. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-sovremennyh-tendentsiyah-v-podgotovke-shkolnikov-k-matematicheskim-olimpiadam> (дата обращения: 24.09.2024).
3. Интернет-проект «Задачи», URL: https://www.problems.ru/about_system.php, (дата обращения 25.09.2024)

4. Яковлев И.В., Math US, URL: <https://mathus.ru/index.php>, (дата обращения 25.09.2024)
5. Олимпиадный фундамент по Математике для 8–11 классов, URL: https://umschool.net/olimpiady/math-11-class-sergey-lepikhov-6684/?utm_source=sravni&utm_medium=sra&utm_campaign=sravni&utm_term=sravni, (дата обращения 25.09.2024)
6. Попов С.В. Информационная система «Живая математика» как среда развития математических компетенций. Вестник МГПУ. Серия «Современный колледж». 2022. № 2 (2). С. 28–37.
7. Gina George and Anisha M. Lal. 2019. Review of ontology-based recommender systems in e-learning. Comput. Educ. 142, C (Dec 2019). <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103642>
8. Невзорова О.А., Невзоров В.Н., Шакирова Л.Р., Фалилеева М.В. Исследование структуры онтологии OntoMathEdu: первые результаты // Труды международной конференции по компьютерной и когнитивной лингвистике TEL-2018. В 2-х томах. Т. 1. Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2018. С. 240–250. 438 с. ISBN 978-5-9690-0477-1.
9. Токтарова В.И. Адаптивная система математической подготовки студентов вуза: учет стиливых типологий обучающихся // Вестник ЮУрГГПУ. 2017. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnaya-sistema-matematicheskoy-podgotovki-studentov-vuza-uchet-stilevyh-tipologiy-obuchayuschih-sya> (дата обращения: 26.09.2024).
10. Jing, Y.; Zhao, L.; Zhu, K.; Wang, H.; Wang, C.; Xia, Q. Research Landscape of Adaptive Learning in Education: A Bibliometric Study on Research Publications from 2000 to 2022. Sustainability 2023, 15, 3115. <https://doi.org/10.3390/su15043115>
11. OWL 2 Web Ontology Language Document Overview, URL: <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/>, (дата обращения: 24.09.2024).
12. RDF 1.1 Concepts and Abstract Syntax, URL: <https://www.w3.org/TR/rdf11-concepts/>, (дата обращения: 24.09.2024).
13. Ломов П.А., Олейник А.Г. Технология применения паттернов онтологического проектирования для оптимизации выполнения запросов в системах обеспечения доступа к данным на основе онтологий // Онтология проектирования. 2017. №4 (26). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-primeneniya-patternov-ontologicheskogo-proektirovaniya-dlya-optimizatsii-vypolneniya-zaprosov-v-sistemah-obespecheniya> (дата обращения: 26.09.2024).
14. Волков, А.А. Инструменты автоматического получения онтологии из реляционных баз данных / А.А. Волков // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО, Санкт-Петербург, 02–05 февраля 2022 года. Том 2. — Санкт-Петербург: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», 2022. — С. 221–224. — EDN LLBFHA.

© Нуякшин Михаил Геннадьевич (mihail.nuyakshin@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ПРИ РАБОТЕ С ЦИФРОВЫМИ ИЗОБРАЖЕНИЯМИ

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF NEURAL NETWORK ALGORITHMS WHEN WORKING WITH DIGITAL IMAGES

*E. Ryzhkova
D. Titov*

Summary. Modern trends in production modernization are impossible without the use of new technological solutions that allow increasing the speed of defect recognition and, as a result, accelerating decision-making. The study is devoted to a comparative analysis of the effectiveness of neural network algorithms in solving the problem of recognizing defects on a product [1, p. 83]. This paper presents an approach to image classification using a pre-trained model. The main training method is Transfer Learning, which allows you to use a pre-trained model (VGG16) and retrain it on your own data [2, p. 95]. The use of cross-validation increased the ability of the model to correctly classify images with defects, increased confidence in the presence of defects in the obtained images. The experiment includes the use of various algorithms that allow you to analyze their work by analyzing graphs and success rates. The model effectively solves the problem of detecting defects in the form of cracks in images, achieving high accuracy in defect classification.

Keywords: neural network algorithm, trained model, convolutional neural networks, machine vision, defect, quality improvement.

Рыжкова Елена Владимировна

*Ассистент, Сибирский Государственный университет
геосистем и технологий
alena.tarasova.2014@mail.ru*

Титов Дмитрий Николаевич

*к.т.н., Сибирский Государственный университет
геосистем и технологий
titov200708@mail.ru*

Аннотация. Современные тенденции к модернизации производства невозможны без применения новых технологических решений позволяющих повысить скорость распознавания дефектов и как следствие ускорения принятия решений. Исследование посвящено сравнительному анализу эффективности нейросетевых алгоритмов при решении задачи распознавания дефектов на изделии [1, с. 83]. В данной работе был представлен подход к классификации изображений с использованием предварительно обученной модели. Основным методом обучения — Transfer Learning, позволяет использовать предварительно обученную модель (VGG16) и дообучить ее на собственных данных [2, с. 95]. Применение кросс-валидации повысило способность модели правильно классифицировать изображения с дефектами, увеличило уверенность в наличии дефектов в полученных изображениях. Эксперимент, включает использование различных алгоритмов, позволяющих проанализировать их работу с помощью анализа графиков и процентов успеха. Модель эффективно решает задачу обнаружения дефектов в виде трещин на изображениях, достигая высокой точности классификации дефектов.

Ключевые слова: нейросетевой алгоритм, обученная модель, сверточные нейронные сети, машинное зрение, дефект, повышение качества.

В современной промышленности, обработка изображений играет важную роль, особенно в аспектах контроля качества продукции [3, с. 155]. По мере усложнения производственных линий и повышения стандартов качества, возникает необходимость в разработке эффективных методов для автоматического обнаружения дефектов на изделиях [4, с. 245]. Использование нейросетевых алгоритмов открывает новые горизонты в этой области благодаря их способности обучаться на обширных наборах данных и распознавать даже самые сложные дефекты. Настоящее исследование посвящено сравнительному анализу эффективности разнообразных нейросетевых алгоритмов в задачах распознавания дефектов. Основная цель исследования — определить наиболее подходящий алгоритм для распознавания дефектов на производстве с применением нейросетевых технологий.

В данном исследовании применяется метод Transfer Learning [5, с. 136], который включает использование за-

ранее обученной модели VGG16, дополнительно адаптированной под специфику нашего набора данных. Этот метод особенно ценен при ограниченном объеме данных. Обучающий и тестовый наборы данных были сформированы из двух папок, содержащих изображения с дефектами (положительные) и без дефектов (отрицательные). В общей сложности было задействовано 5200 изображений, 60 % из которых были отведены для обучения модели, а оставшиеся 40 % использовались для тестирования. Перед разделением данные подверглись случайной перестановке. Для оценки производительности модели был использован тестовый набор из 100 изображений, каждое из которых было классифицировано как 'POSITIVE' (с трещиной) или 'NEGATIVE' (без трещины). Все изображения были доведены до размера 120x120 пикселей. Модель была скомпилирована с применением оптимизатора Adam и функции потерь бинарной кросс-энтропии. Для предотвращения переобучения была внедрена стратегия ранней остановки.

Алгоритм 1. Применения сверточных нейронных сетей для обнаружения дефектов на изображениях [6, с.12]. Применение сверточных нейронных сетей (Convolutional Neural Networks, CNN) CNN [7, с. 3] являются стандартом в области анализа изображений и показывают высокую эффективность при решении задач классификации.

Схема нейронной сети выглядит следующим образом:

1. Входной слой (Input) размером (120,120,3);
2. Сверточный слой (Conv2D) с 16 фильтрами и ядром размером (3,3), функция активации — ReLU;
3. Слой максимального пулинга (MaxPool2D) с размером пула (2,2);
4. Сверточный слой (Conv2D) с 32 фильтрами и ядром размером (3,3), функция активации — ReLU;
5. Слой максимального пулинга (MaxPool2D) с размером пула (2,2);
6. Слой глобального усреднения пулинга (GlobalAveragePooling2D);
7. Выходной слой Dense с одним нейроном и сигмоидной функцией активации.

В результате тестирования модель показала тестовую точность (Test Accuracy) 76,30 %. Отчет о классификации показал следующие результаты:

- для класса «NEGATIVE»: точность (precision) составила 0,83, полнота (recall) — 0,42, F1-мера (гармоническое среднее точности и полноты) — 0,56;
- для класса «POSITIVE»: точность (precision) составила 0,62, полнота (recall) — 0,92, F1-мера (гармоническое среднее точности и полноты) — 0,74. Что такое F1-мера.

Таблица 1.

Результаты первых 10 изображений алгоритма CNN

№	Название файла	Тип файла	Результат	Уверенность в результате
1	0,10 clear	jpg	Negative Not crack	0,627637
2	1,1 craked	jpg	Positive crack	0,813721
3	2,2 clear	jpg	Negative Not crack	0,543231
4	3,3 craked	jpg	Positive crack	0,966885
5	4,4 craked	jpg	Positive crack	0,999512
6	5,5 clear	jpg	Negative Not crack	0,601615
7	6,6 clear	jpg	Negative Not crack	0,586648
8	7,7 clear	jpg	Positive crack	0,852246
9	8,8 clear	jpg	Positive crack	0,963136
10	9,9 craked	jpg	Positive crack	0,964757

Результат указывает на то, что модель лучше справляется с определением класса «POSITIVE», но имеет про-

блемы с определением класса «NEGATIVE». Результаты уверенности наличия трещины модели (в процентах) на тестовом наборе первых 10 изображений показаны в таблице 1.

Можно заметить, что модель часто ошибается, но все же имеется потенциал для улучшения, особенно в части определения отсутствия трещины на изображении.

Алгоритм 2. Использование предварительно обученной модели VGG16 для классификации изображений дефектов [8, с. 40]. Данный алгоритм использует предварительно обученную модель VGG16 для классификации изображений дефектов [9, с. 59]. Из 14(R), 715(G), 201(B) параметра модели, обучаемыми являются только 513 параметров в последних слоях, остальные «заморожены».

Схема нейронной сети включала:

1. Входной слой размером (120,120,3);
2. Слои предварительно обученной VGG16 (с замороженными весами);
3. Слой GlobalAveragePooling2D;
4. Слой Dropout (с вероятностью 0,2);
5. Выходной слой Dense с одним нейроном и сигмоидной функцией.

Модель стала значительно лучше определять класс «NEGATIVE», что было проблемой в предыдущем эксперименте. Также стоит отметить улучшение общей точности модели. Результаты (в процентах), на тестовом наборе первых 10 изображений приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты первых 10 изображений алгоритма VGG16 с обучаемым слоем

№	Название файла	Тип файла	Результат	Уверенность в результате
1	0,10 clear	jpg	Negative Not crack	0,367081
2	1,1 craked	jpg	Positive crack	0,920216
3	2,2 clear	jpg	Negative Not crack	0,365792
4	3,3 craked	jpg	Positive crack	0,872709
5	4,4 craked	jpg	Positive crack	0,766673
6	5,5 clear	jpg	Negative Not crack	0,350197
7	6,6 clear	jpg	Negative Not crack	0,297235
8	7,7 clear	jpg	Positive crack	0,310231
9	8,8 clear	jpg	Positive crack	0,352111
10	9,9 craked	jpg	Positive crack	0,938156

Модель показывает высокую уверенность при классификации изображений с дефектами (значения близки к 1), и низкую уверенность при классификации изображений без дефектов (значения близки к 0).

Алгоритм 3. Использование модели VGG16 для классификации изображений с кросс-валидацией [10, с. 41]. В этом алгоритме использовалась 5-кратная кросс-валидация для повышения устойчивости модели. Результаты (в процентах), на тестовом наборе первых 10 изображений приведен в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты первых 10 изображений алгоритма VGG16 с обучаемым слоем и кросс-валидацией

№	Название файла	Тип файла	Результат	Уверенность в результате
1	0,10 clear	jpg	Negative Not crack	0,319881
2	1,1craked	jpg	Positive crack	0,982643
3	2,2 clear	jpg	Negative Not crack	0,378072
4	3,3 craked	jpg	Positive crack	0,97588
5	4,4 craked	jpg	Positive crack	0,834913
6	5,5 clear	jpg	Negative Not crack	0,277851
7	6,6 clear	jpg	Negative Not crack	0,251782
8	7,7 clear	jpg	Positive crack	0,193464
9	8,8 clear	jpg	Positive crack	0,274406
10	9,9 craked	jpg	Positive crack	0,99052

Анализ влияния кросс-валидации на результаты обучения модели для обнаружения дефектов. В ходе сравнительного анализа результатов обучения модели с применением кросс-валидации и без неё были выявлены следующие тенденции:

- повышение уверенности модели в обнаружении дефектов: например, для изображения с наименованием «1craked.jpg» наблюдается увеличение уверенности в наличии трещин с 92 % (без использования кросс-валидации) до 98 % (с использованием кросс-валидации);
- снижение уверенности модели в отсутствии трещин: в случае изображения «5clear.jpg» процент уверенности в наличии трещины сократился с 37 % (без кросс-валидации) до 26 % (с кросс-валидацией).

Сравнивая результаты обучения модели с использованием кросс-валидации и без нее, можно отметить следующие особенности:

- уверенность в наличии трещин: например, для изображения «1craked.jpg», увеличивается с 92 % (без кросс-валидации) до 98 % (с кросс-валидацией);
- уверенность в отсутствии трещин: например, в случае изображения «5clear.jpg» уменьшается с 37 % (без кросс-валидации) до 26 % (с кросс-валидацией).

В отчете по классификации были получены следующие результаты:

- для класса «NEGATIVE» точность составила 0,97, полнота — 0,85, а F1-мера — 0,92. Это означает, что модель идеально предсказывает отсутствие трещин, но немного хуже определяет их наличие;
- для класса «POSITIVE» точность составила 0,76, полнота — 0,97, а F1-мера — 0,85. Это означает, что модель идеально определяет наличие трещин, но немного хуже предсказывает их отсутствие;
- общая точность модели на тестовом наборе (accuracy) увеличилась до 91,33 %.

В результате обработки (обучения) были получены данные, которые отображены на графике потерь алгоритма CNN на валидационных и тестовых данных на рис. 1.

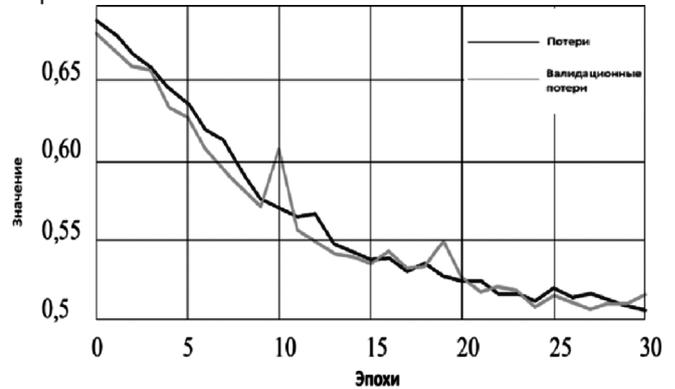


Рис. 1. График обучения алгоритма с CNN

График функции потерь при обучении и валидации модели VGG16 показан на рис. 2.

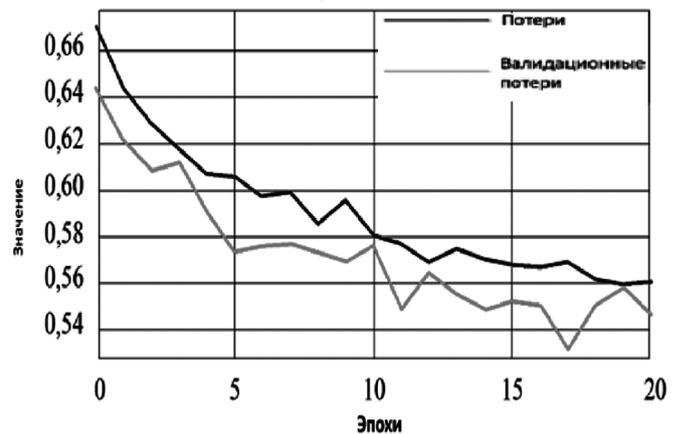


Рис. 2. Функция потерь при обучении и валидации для модели VGG16 с обучаемым слоем

График функции потерь и аккуратности при обучении модели VGG16 с кросс-валидацией для одного фолда показан на рис. 3.

Результаты обработки изображений с помощью всех алгоритмов приведены в таблице 4.

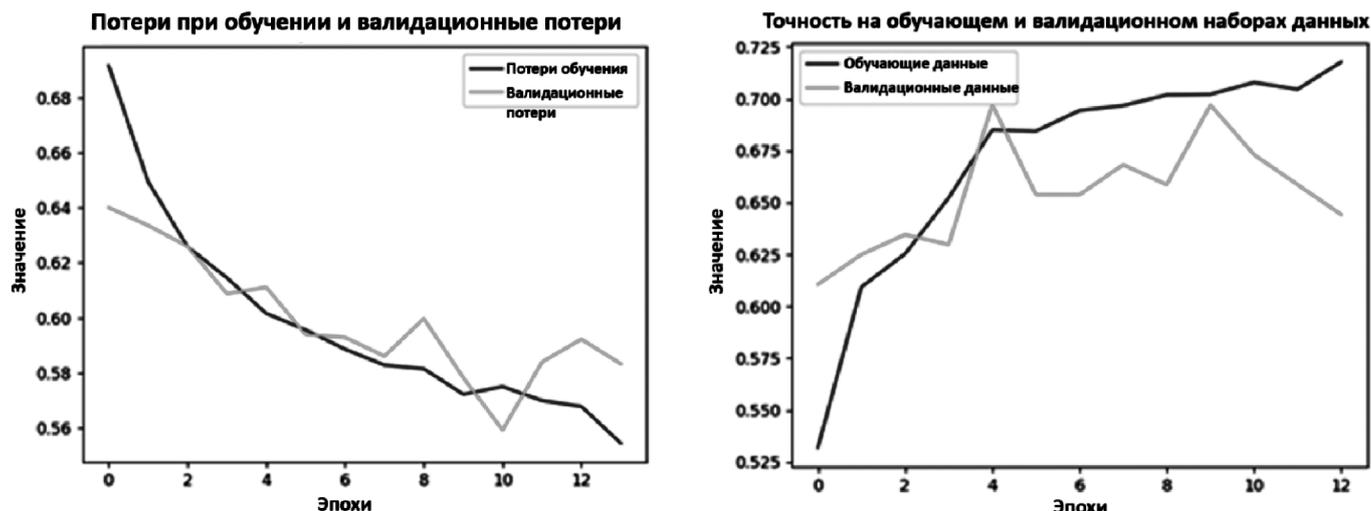


Рис. 3. Функция потерь и точности при обучении кросс-валидацией для модели VGG16 с обучаемым слоем для одного фолда

Таблица 4.

Сравнение результатов алгоритмов

Название способа	Test Accuracy	Precision «NEGA-TIVE»	Recall «NEGA-TIVE»	F1-score «NEGA-TIVE»	Precision «POSITI-VE»	Recall «POSITI-VE»	F1-score «POSITI-VE»
Convolutional Neural Networks, CNN	76,30 %	0,83	0,42	0,56	0,62	0,92	0,74
VGG16 with Transfer Learning	90,00 %	0,96	0,86	0,92	0,75	0,96	0,86
VGG16 with Transfer Learning and Cross-Validation	91,33 %	0,97	0,85	0,91	0,76	0,97	0,85

Использование VGG16 с Transfer Learning и совместно с кросс-валидацией приводит к высокой точности классификации, достигающей 91,33 %. Оба подхода демонстрируют высокую точность как для «NEGATIVE» класса (до 0,97 и 0,86), так и для «POSITIVE» класса (до 0,76 и 0,97). Выбор между этими двумя подходами может варьироваться в зависимости от конкретных требований к поставленной задаче.

Применение Transfer Learning с VGG16 и кросс-валидацией показало значительное улучшение точности классификации, достигая 91,33 %. Эти методы подтвердили свою эффективность и показывают потенциал для дальнейшего улучшения качества моделей распознавания дефектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скороход А.В., Гордиенко М.В., Семенкин Е.С. Введение в глубинные нейронные сети // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2020. — №3 — С. 83–85.
2. Чернышев Ю.О., Венцов Н.Н., Пшеничный И.С. Использование технологии Transfer Learning для интеллектуального формирования стартовых популяций при решении задач транспортного типа // Известия Южного федерального университета, 2018. — №3. Т. 233. — С. 90–98.
3. Wei. W., Xu. X. Application of crack detection algorithm using convolutional neural network in concrete pavement construction // International Journal of Grid and Utility Computing, 2022. — №13. Т 2-3. — P. 154–163.
4. Бьенвеню М.М. Использование предобученной нейросети (VGG16) для решения задачи переноса стиля изображения // Известия тульского государственного университета. Технические науки 2021. — №18. Т. 2. — С. 243–248.
5. Федотов И.С. Трансферное обучение в компьютерном зрении: применение и перспективы // Вестник науки, 2023. — №9. Т. 66. — С. 135–137.
6. Маршалко Д.А., Кубанских О.В. Архитектура свёрточных нейронных сетей // Ученые записки Брянского государственного университета, 2019. — №2. Т. 30. — С. 10–13.
7. Xu Z., Qian S., Ran X., Zhou J. Application of Deep Convolution Neural Network in Crack Identification // Applied Artificial Intelligence 2022. — №36. Т. 1. — pp. 1–22.
8. Камалова Ю.Б., Андриянов Н.А. Распознавание микроскопических изображений пылевых зерен с помощью сверточной нейронной сети VGG-16 // Вестник Южно-Уральского государственного университета, 2022. — №22. Т. 3. — С. 39–46.
9. Ломовцева Н.А., Кувайскова Ю.Е. Использование модуля нейронных сетей в системе Statistica для решения задачи классификации // Известия Южного федерального университета. Вестник Ульяновского государственного технического университета, 2021. — №4(104) — С. 59–61.
10. Pak V., Ugli A.S. Application of transfer learning for medical image classification // Science, technology and education, 2020. — №4. Т. 92. — P. 39–42.

© Рыжкова Елена Владимировна (alena.tarasova.2014@mail.ru); Титов Дмитрий Николаевич (titov200708@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ФОРМИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНАМИ СПАСАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА МЧС ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

FORMATION OF A RATIONAL OPTION FOR MANAGING THE BODIES OF THE RESCUE CENTER OF THE MINISTRY OF EMERCOM OF TULA REGION

**Yu. Sergeev
A. Ponomarenko**

Summary. The article raises significant issues related to the management of the bodies of the Rescue Center of the Ministry of Emergency Situations of the Tula Region in modern conditions. This study is devoted to the formation of three areas that form a rational option for managing the bodies of the Rescue Center of the Ministry of Emergency Situations of the Tula Region. The article contains problems that arise in the process of managing the bodies of the Rescue Center of the Ministry of Emergency Situations of the Tula Region. The solution of these problems requires the development of areas that form a rational option for managing in modern conditions, therefore, recommendations are provided for optimizing the management of the bodies of the Rescue Center of the Ministry of Emergency Situations of the Tula Region: an algorithm for optimizing the organizational structure of managing the bodies of the Rescue Center of the Ministry of Emergency Situations of the Tula Region; an approach to identifying a rational option for the deployment of the Rescue Center of the Ministry of Emergency Situations of the Tula Region; a methodology for equipping the Rescue Center of the Ministry of Emergency Situations of the Tula Region.

Keywords: management of bodies; rational option; organizational structure; deployment; equipment methodology; Emergencies Ministry Rescue Center.

Сергеев Юрий Николаевич

Полковник, Академия гражданской защиты
имени генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика
seyuni2018@mail.ru

Пономаренко Александр Алексеевич

Полковник запаса, кандидат военных наук,
Академия гражданской защиты
имени генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика
a.ponomarenko@amchs.ru

Аннотация. В статье поднимаются значимые вопросы, обусловленные управлением органами Спасательного центра МЧС Тульской области в современных условиях. Данное исследование посвящено формированию трёх направлений, образующих рациональный вариант управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области. Статья раскрывает проблемы, возникающие в процессе управления в органах Спасательного центра МЧС Тульской области. Решение указанных проблем требует проработки направлений, образующих рациональный вариант управления в современных условиях, поэтому приведены рекомендации по оптимизации управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области: алгоритм оптимизации организационной структуры управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области; подход к выявлению рационального варианта дислокации Спасательного центра МЧС Тульской области; методика оснащения Спасательного центра МЧС Тульской области.

Ключевые слова: управление органами; рациональный вариант; организационная структура; дислокация; методика оснащения; Спасательный центр МЧС.

Введение

Изучение работы Спасательных центров МЧС РФ может стать основой для формирования рационального варианта управления органами Спасательных центров как в повседневном режиме, так и в ситуациях реагирования на чрезвычайные ситуации. Исследование проводилось на базе Спасательного центра МЧС Тульской области.

В современных условиях наблюдаются проблемы, возникающие в процессе управления в органах Спасательного центра МЧС Тульской области [4], [5], [6], [8]:

1. Недостаток компетентных трудовых ресурсов. На фоне оптимизации организационной структуры управления Спасательного центра, произо-

шедшей в 2017–2018 гг., сократилась степень качества реализуемых спасательных мероприятий.

2. Трудности с оснащением и материально-техническим обеспечением, обусловленные крайне низким показателем укомплектованности оборудованием, инструментами, пожарной техникой и иными активами. Помимо этого, сроки эксплуатации превышены у специальной спасательной техники (73 % от всех специальных технических средств) и пожарной техники (67 % от всех пожарно-технических средств).
3. Относительно низкий уровень финансирования авиации и спасательных формирований в структуре МЧС РФ, включая Спасательный центр Тульской области.

4. Нет нормативно-правовой базы по аспектам управления органами Спасательного центра Тульской области при размещении формирований в полевых условиях (дислокации).
5. Удалённость спасательных формирований и команд, осуществляющих работу по ликвидации возникшей чрезвычайной ситуации, что свидетельствует об отсутствии рационального варианта дислокации Спасательного центра Тульской области.

Следовательно, данное исследование посвящено анализу конкретных проблем, возникающих в процессе управления в органах Спасательного центра МЧС Тульской области, для разработки рекомендаций по оптимизации управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области: алгоритма оптимизации организационной структуры управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области; подхода к выявлению рационального варианта дислокации Спасательного центра МЧС Тульской области; методики оснащения Спасательного центра МЧС Тульской области.

Актуальность работы

Практическое использование направлений рационального варианта работы Спасательного центра Тульской области играет основополагающую роль в совершенствовании управления органами учреждения за счет обеспечения оптимизации организационной структуры управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области; выявления рационального варианта дислокации Спасательного центра МЧС Тульской области, методики оснащения Спасательного центра МЧС Тульской области.

Цель данного исследования — сформировать рациональный вариант управления органами Спасательного центра МЧС РФ на примере Спасательного центра Тульской области.

Задачи исследования:

1. Выявить проблемы, возникающие в процессе управления в органах Спасательного центра МЧС Тульской области.
2. Представить рекомендации по оптимизации управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области: алгоритм оптимизации организационной структуры управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области; подход к выявлению рационального варианта дислокации Спасательного центра МЧС Тульской области; методику оснащения Спасательного центра МЧС Тульской области.

Материалы и методы

Для выявления проблем, возникающих в процессе управления в органах Спасательного центра МЧС Тульской области, авторами статьи был проведён опрос 13 работников Главного управления выбранного спасательного формирования в период май-июнь 2024 года.

Помимо методов социологического исследования, авторами статьи использовались метод теоретического анализа источников академической литературы, индукции, дедукции, анализа статистических временных рядов, обработки количественных показателей с помощью программного продукта STATA.

Рекомендации по оптимизации управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области

Для того чтобы оптимизировать систему управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области, авторами статьи предлагаются следующие рекомендации, способствующие устранению обозначенных выше проблем:

1. Алгоритм оптимизации организационной структуры управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области.
2. Подход к выявлению рационального варианта дислокации Спасательного центра МЧС Тульской области.
3. Методика оснащения Спасательного центра МЧС Тульской области.

Алгоритм оптимизации организационной структуры управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области

Процесс оптимизации организационной структуры управления органами Спасательного центра, учитывая решаемые им задачи, по мнению автора статьи, целесообразно реализовать последовательно в два этапа:

1. Проектирование альтернативных вариантов организационной структуры управления, исходя из решаемых спасательным формированием задач.
2. Определение рационального варианта организационной структуры управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области.

Проектирование альтернативных вариантов организационной структуры управления, исходя из решаемых спасательным формированием задач, основывается на практическом использовании нескольких методов: организационное моделирование, экспертно-аналитический метод, метод аналогий, структуризации управленческих целей.

Спасательный центр Тульской области обладает типовым составом функциональных подразделений, которые можно систематизировать на три укрупнённые группы: основные функциональные подразделения, обеспечительные функциональные подразделения и управление.

Информационная база проектирования альтернативных вариантов организационной структуры управления, исходя из решаемых спасательным формированием задач, — решение задач в условиях военного времени [1].

Процесс проектирования подразумевает последовательное выполнение пяти нижеследующих стадий:

1. Группирование решаемых задач в условиях военного времени в целях выявления структуры основных функциональных подразделений.
2. Выявление основных функциональных подразделений.
3. Декомпозиция сгруппированных решаемых задач для детализации структуры основных функциональных подразделений.
4. Выявление организационного состава основных функциональных подразделений.
5. Формирование альтернативных вариантов организационной структуры управления Спасательного центра.

После того, как были созданы альтернативные варианты организационной структуры управления Спасательного центра Тульской области, целесообразно определить рациональный вариант.

Информационная база определения рационального варианта организационной структуры управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области — спектр созданных альтернативных вариантов и критерии сопоставительного анализа организационных структур.

Определение рационального варианта организационной структуры управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области предполагает прохождение таких стадий, как:

1. Формирование иерархической структуры задач, которые решаются в условиях военного времени.
2. Выявление критериев сопоставительного анализа организационных структур. Автором статьи выявлены такие критерии: преемственность, автономность, мобильность, управляемость и универсальность.
3. Определение приоритетов выявленных критериев, исходя из шкалы важности.
4. Выявление уровня относительной важности альтернативных вариантов организационных структур в разрезе критериев.

На рисунке 1 проиллюстрирован алгоритм оптимизации организационной структуры управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области.

Предлагаемый алгоритм оптимизации организационной структуры управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области даёт возможность своевременно решать аналогичные задачи, уменьшить промежуток времени нахождения решения возникшего вопроса, автоматизировать приведенный процесс, распространить конечное решение в удобной и универсальной для работников форме.

Исходя из рисунка 1, эксперты проектируют альтернативные варианты организационных структур в соответствии с условиями военного времени, выбирают рациональный вариант, а затем оформляют доклад для руководства.

Подход к выявлению рационального варианта дислокации Спасательного центра МЧС Тульской области

Задача разработки подхода к выявлению рационального варианта дислокации Спасательного центра МЧС Тульской области — целесообразно сформировать методический подход в целях аргументации рационального варианта дислокации функциональных подразделений, учитывая их расположение на местности, специфические особенности потенциальных угроз, уровень инфраструктурного развития Тульской области при ограниченности кадровых и денежных ресурсов.

Для выявления рационального варианта размещения функциональных подразделений важностью обладают обозначенные ниже аспекты:

1. Расположение на местности потенциально опасных объектов-угроз.
2. Показатели значимости потенциально опасных угроз, определение которых базируется на анализе рисков и масштабов возникших чрезвычайных ситуаций.

Рациональный вариант размещения функциональных подразделений в соответствии с первым аспектом, по мнению авторов статьи, устанавливается, если минимален общий промежуток прибытия сотрудников Спасательного центра до всех выделенных на местности потенциальных угроз. Методическую основу первого аспекта составляет динамическое программирование минимальных расстояний (маршрутов) по территориальному расположению потенциальных угроз.

Для того чтобы выделить показатели значимости потенциально опасных угроз, целесообразно применить экспертные оценки [3]. Количественное измерение зна-

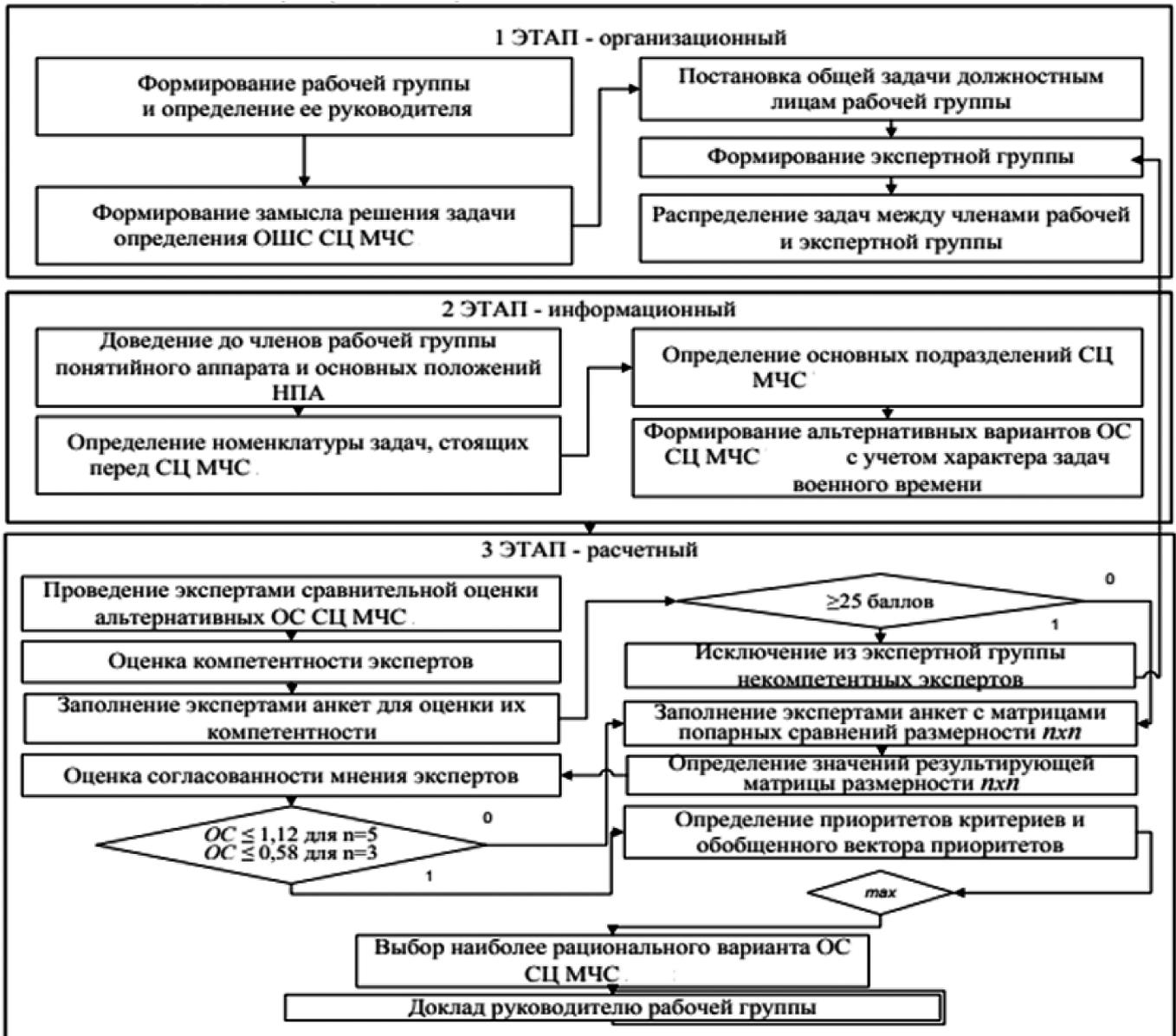


Рис. 1. Алгоритм оптимизации организационной структуры управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области (источник: составлено автором на основе [9])

чимости потенциально опасных угроз нужно выполнить посредством двух стадий:

1. Ранжирование сопоставляемых потенциальных угроз по степени предпочтения.
2. Оценка меры предпочтения в разрезе потенциальных угроз.

Методическую основу второго аспекта составляют парные матричные сравнения и сравнительные суждения [3], [7].

Представленный авторами подход к выявлению рационального варианта дислокации Спасательного центра МЧС Тульской области подойдет к практическому использованию в таких случаях, как:

1. Изменение организационной структуры управления органами Спасательного центра, состава основных функциональных подразделений, их группирования.
2. Формирование на местности временных мест размещения в целях оперативной концентрации спасательных формирований, своевременной ликвидации вероятных чрезвычайных ситуаций, включая применение аэромобильных групп спасения [2].
3. Планирование дислокации функциональных подразделений Спасательного центра в условиях военного времени.
4. Уточнение территориального сосредоточения функциональных спасательных формирований

при разрушении инженерных коммуникаций, транспортных линий, инфраструктурного обеспечения.

Методика оснащения Спасательного центра МЧС Тульской области

Задача формирования методики оснащения Спасательного центра МЧС Тульской области — выявление значимости типов специальной и пожарной техники, а также рационального варианта оснащения функциональных подразделений Спасательного центра, учитывая типы специальной и пожарной техники по степени значимости.

Выявление значимости типов специальной и пожарной техники предполагает вычисление:

1. Вектора локальных приоритетов критериев специальной и пожарной техники.
2. Вектора локальных приоритетов решаемых Спасательным центром задач.
3. Вектора локальных приоритетов типов специальной и пожарной техники.
4. Критерия региональных приоритетов типов специальной и пожарной техники.

Методическую основу процесса выявления значимости типов специальной и пожарной техники составляют экспертная оценка, иерархия управленческих решений, сопоставительный анализ типов специальной и пожарной техники, коэффициентный анализ значимости типов специальной и пожарной техники.

Определение рационального варианта оснащения функциональных подразделений Спасательного центра, учитывая типы специальной и пожарной техники по степени значимости, должно базироваться на:

1. Дисконтировании критерия значимости в разрезе типов специальной и пожарной техники, учитывая их денежную стоимость.
2. Рационализации уровня денежных средств, выделяемых для приобретения специальной и пожарной техники.
3. Оптимизации номенклатуры специальной и пожарной техники при помощи симплекс-метода.

Информационная база определения рационального варианта оснащения функциональных подразделений Спасательного центра Тульской области: типы специальной и пожарной техники, денежные средства, выде-

ляемые для приобретения специальной и пожарной техники, штатный объем специальной и пожарной техники, объем устаревшей специальной и пожарной техники, объем современной специальной и пожарной техники, степень укомплектованности функциональных подразделений, уровень производительности специальной и пожарной техники.

Выбор рационального варианта базируется на уравнении, приведенном в формуле (1):

$$x_r + \sum_{j=k+1}^m c_{ij} * x_{ij} = b_p \tag{1}$$

где x_r — базисный показатель;

c_{ij}, x_{ij}, b_p — свободные критерии уравнения.

В соответствии с обозначенным уравнением формируется ограничение вариантов оснащения, формула (2):

$$-\sum_{j=1}^m [c_{ij}] * x_{ij} + x_{i(m+1)} = -[b_p] \tag{2}$$

Решение уравнения должно быть целочисленным. Для каждого типа специальной и пожарной техники вычисляется вектор оптимального объема основных средств. Составление плана переоснащения спасательных формирований обусловлено объединением рациональных вариантов в единое множество.

Приведенная методика оснащения Спасательного центра Тульской области может стать фундаментом оптимальных рациональных решений для спасательного формирования МЧС РФ в целом.

Выводы

В исследовании были выявлены проблемы, возникающие в процессе управления в органах Спасательного центра МЧС Тульской области.

Представлены авторские рекомендации по оптимизации управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области: алгоритм оптимизации организационной структуры управления органами Спасательного центра МЧС Тульской области; подход к выявлению рационального варианта дислокации Спасательного центра МЧС Тульской области; методика оснащения Спасательного центра МЧС Тульской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента РФ от 30.09.2011 N 1265 (ред. от 11.03.2024) «О спасательных воинских формированиях Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_119935/ (дата обращения: 03.10.2024).
2. Методические рекомендации по созданию, оснащению и порядку применения аэромобильных групп территориальных органов МЧС России (утв. МЧС России 30.05.2014) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_223585/d6457050cbe4ec855e5e682afaaa9dde8e50fe6a/ (дата обращения: 03.10.2024).
3. Девид Г. Метод парных сравнений. — М.: Статистика, 1998. — 144 с.
4. Кондратьев Е.Б. О проблемах управления силами МЧС России, выполняющими задачи по ликвидации чрезвычайных ситуаций вне пожарно-спасательных гарнизонов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2016. — №. 1. — С. 43–47.
5. Полякова Н.М. Оперативное реагирование сил и средств МЧС России на чрезвычайные ситуации // Мировая наука. — 2022. — №. 1 (58). — С. 136–141.
6. Семенов А.О. Совершенствование системы управления пожарно-спасательными подразделениями при ликвидации крупных пожаров и чрезвычайных ситуаций: дисс. . . канд. техн. наук / 05.13.10. — М., 2006. — 161 с.
7. Терстоун Л. Психофизиологический анализ // Проблемы и методы психофизики. — М.: МГУ, 1984.
8. Хиль Е.И., Аристархов В.А. Применение методов системной инженерии в МЧС России // Культура и безопасность. — 2022. — №. 4. — С. 38–45.
9. Черных Ж.В., Эркенов Т.А. Алгоритм определения рациональной организационной структуры Спасательных центров МЧС России // Совершенствование тактики действий спасательных воинских формирований (СВФ) МЧС России. — 2018. — С. 4–9.

© Сергеев Юрий Николаевич (seyuni2018@mail.ru); Пономаренко Александр Алексеевич (a.ponomarenko@amchs.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

DESIGNING WIRELESS NETWORKS FOR MOBILE OBJECTS

**I. Skorikov
M. Khoroshko**

Summary. In the last decade, mobile communication has developed a lot, allowing you to exchange data with anything, anywhere and anytime. The use of such communication systems in vehicles is a reality today. As a result, movable objects become sensor-rich platforms capable of responding to changes in their environment. As a consequence, wireless communication infrastructure plays an important role in providing information access to vehicles as well as downloading environmental data. The consequence of the development of wireless technologies is the formation of intelligent transportation systems, where vehicles are intelligent objects exchanging data with each other using an intelligent approach. This new concept of data exchange between vehicles, sensors and infrastructure opens up many opportunities such as: driver safety, tracking of incidents on the road, timely response to abnormal situations. At the same time, in order to enjoy these benefits, it is an open question to choose the most reliable wireless network architectures for mobile objects. Taking into account the noted, the article is devoted to the study of features and key points of designing wireless networks for mobile objects on the example of motor vehicles. In the process of the study the results of comparison of VANET and SDN-IoV are presented. Also, the requirements to be met by wireless networks for mobile objects are formulated. An author's approach to wireless network architecture is proposed, which is based on software-defined networks and the Internet of Vehicles. The block diagram of the algorithm of adaptive broadcasting of traffic signals is formalized separately and the principle of operation of the proposed architecture is presented on a practical example. In addition, the functionality that the node layer in the network must support is emphasized. The problems that the network protocol has to face are highlighted. In order to solve these problems it is proposed to use a network layer that implements a localized routing mechanism.

Keywords: wireless network, communication, sensors, exchange, data, protocol, nodes, architecture, vehicles, motion.

Скориков Иван Олегович

Аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск
i-skorikov@internet.ru

Хорошко Максим Болеславович

кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск
clevermaks@yandex.ru

Аннотация. В последнее десятилетие мобильная связь получила большое развитие, позволив обмениваться данными с чем угодно, где угодно и в любое время. Использование подобных систем связи в транспортных средствах является реальностью сегодняшнего дня. В результате движимые объекты становятся платформами с большим количеством датчиков, способными реагировать на изменения в окружающей обстановке. Как следствие, инфраструктура беспроводной связи играет важную роль в обеспечении доступа информации к транспортным средствам, а также в загрузке данных об окружающей среде. Следствием развития беспроводных технологий является формирование интеллектуальных транспортных систем, где транспортные средства представляют собой интеллектуальные объекты, обменивающиеся данными между собой с помощью интеллектуального подхода. Эта новая концепция обмена данными между транспортными средствами, датчиками и инфраструктурой открывает много возможностей, таких как: безопасность водителя, отслеживание инцидентов на дорогах, своевременное реагирование на нештатные ситуации. В тоже время, для использования этих преимуществ необходимо решить вопрос выбора наиболее надежных архитектур беспроводных сетей. С учетом отмеченного, статья посвящена изучению особенностей и ключевых моментов проектирования беспроводных сетей для подвижных объектов на примере авто-транспортных средств. В процессе исследования представлены результаты сравнительного анализа технологий VANET и SDN-IoV. Также сформулированы требования, которым должны отвечать беспроводные сети для подвижных объектов. Предложен авторский подход к архитектуре беспроводной сети, которая базируется на программно-определимых сетях и Интернете транспортных средств. Отдельно формализована блок-схема алгоритма адаптивной трансляции сигналов дорожного движения и на практическом примере представлен принцип работы предлагаемой архитектуры. Кроме того, акцентировано внимание на функциональных возможностях, которые должен поддерживать уровень узлов в сети. Выделены проблемы, с которыми приходится сталкиваться сетевому протоколу. С целью решения обозначенных проблем предложено использовать сетевой уровень, реализующий локализованный механизм маршрутизации.

Ключевые слова: беспроводная сеть, связь, датчики, обмен, данные, протокол, узлы, архитектура, транспортные средства, движение.

С увеличением интенсивности дорожного движения в крупных городах и населенных пунктах большинства стран мира возникают дорожные заторы, аварии, увеличиваются выбросы парниковых газов, что приводит к ухудшению качества жизни населения. В данном контексте не подлежит сомнению тот факт, что с ростом интенсивности дорожного движения необходимо внедрять передовые интеллектуальные информационные системы, которые смогут адаптивно отслеживать и контролировать движение транспортных средств. В то же время с появлением электромобилей нового поколения открываются широкие возможности для использования систем автоматической дорожной сигнализации.

Таким образом, можно отметить, что области применения автомобильных сетей многочисленны и разнообразны и включают в себя функции безопасности, предотвращение столкновений, оповещение об авариях и распространение информации. Другие обеспечивают электронную оплату за проезд, отслеживание грузов и активов, а также системы информирования путешественников [1].

Большая часть отмеченных функций и возможностей реализуется на базе Интернета транспортных средств (IoV), получившего широкое развитие и распространение в последнее время. В результате государственные учреждения, промышленные предприятия и исследователи прилагают большие усилия для создания эффективных беспроводных сетей для подвижных объектов, которые способны внести значительный вклад в разработку и внедрение интеллектуальных транспортных систем (ITS). Исключительные характеристики IoV включают в себя высокую вычислительную способность, связь с высокоскоростным соединением, предсказуемую мобильность и переменную плотность сети, которая недоступна в мобильной сети Ad hoc [2]. Кроме того, IoV отличается от автомобильных сетей (VANET) наличием централизованного управления, что делает ее более подходящей для применения в сфере безопасности ITS. С другой стороны, автомобильные сети позволяют подвижным объектам на дорогах превращаться в точки доступа, обеспечивая связь с другими транспортными средствами и объектами инфраструктуры.

Особенно актуальны задачи повышения качества обмена сообщениями между абонентами сети в процессе движения, в зонах с неустойчивой связью, малонаселенных пунктах, труднодоступных территориях, где доступ к Интернету или мобильная связь отсутствуют [3]. Поэтому, в настоящее время, большое внимание уделяется усовершенствованию средств передачи данных, сетевого оборудования, методов взаимодействия между сетями и улучшению предоставления качества информационных услуг.

Особый акцент необходимо сделать на том, что исследование VANET для обеспечения безопасности дорожного движения и управления трафиком в современных больших масштабах сталкивается с определенными сложностями. Чтобы преодолеть эти трудности, VANET требуется программируемая архитектура для реализации современных транспортных услуг. IoV — это эволюционная форма VANET и MANET, более мощная, но более комплексная в реализации [4]. Учитывая динамические аспекты транспортных средств на дороге, проектирование беспроводных сетей и разработка эффективного протокола маршрутизации для передачи данных является сложной задачей. Это связано с тем, что архитектура сетей должна учитывать неоднородность плотности узлов и технологий связи, прерывистость соединения и переменную мобильность.

Таким образом, обозначенная проблематика является теоретически и практически значимой, что и обуславливает выбор темы данной статьи.

Перспективы повышения безопасности дорожного движения с помощью технологий мобильной связи и беспроводных сетей рассматривают в своих трудах Шемякин А.В., Терентьев В.В., Горячкина И.Н., Латышевых Н.М., Elias C. Eze, Sijing Zhang, Enjie Liu, Emmanuel N. Nweso, Joy C. Eze.

Над созданием оптимального протокола маршрутизации для Интернета транспортных средств с уменьшенными накладными расходами трудятся Журавлева Л.М., Левшунов В.В., Рыжков Д.А., Нилов М.А., Бабошин В.А., Бондаренко С.А., Piyush Chouhan, Swapnil Jain, S. Vijayarangam, Gokulnath.

Подходы к разработке системы на основе беспроводной сенсорной сети для измерения и мониторинга дорожного движения рассматривают Плеханов П.А., Роенков Д.Н., Глазунов В.В., Ashit Kumar Dutta, Mohamed Elhoseny.

Однако, несмотря на имеющиеся труды и достижения современных ученых, в связи с появлением новых технологий и расширением использования цифровых инноваций на дорогах, ряд вопросов в данной предметной плоскости требует отдельного внимания. Так, в дальнейшем развитии нуждаются инструменты для сбора данных в режиме реального времени, применяемые на дорогах, а также решения, позволяющие усовершенствовать системы, связанные с «умными дорогами», с помощью беспроводных сенсорных сетей.

Таким образом, цель статьи заключается в изучении особенностей и ключевых моментов проектирования беспроводных сетей для подвижных объектов на примере автотранспортных средств.

Различия между VANET и SDN-IoV

Параметры	VANETs	SDN-IoV
Цель / Задача	Наиболее принципиальной и важной целью VANET с момента ее создания является улучшение безопасности движения во избежание катастрофических жертв и повышение эффективности дорожного движения для минимизации времени, затрат и выбросов загрязняющих веществ	Повышение безопасности движения, эффективности и коммерческой информационно-развлекательной составляющей транспорта. Комплекс, доступный в IoV, предоставляет пассажирам возможность доступа к онлайн-сервисам, включая онлайн-музыку, потоковое видео и мониторинг удаленного доступа
Принципы коммуникации	Два типа связи: — между транспортным средством и автомобилем (V2V); — между транспортным средством и дорожным устройством (V2R)	Пять типов связи: — автомобиль-транспортное средство (V2V); — между транспортным средством и боковым устройством дороги (V2R); — транспортное средство-инфраструктура (V2I); — автомобиль — датчики (V2S); — транспортное средство — все (V2X)
Коммуникационные технологии	Два типа коммуникационных технологий: — беспроводной доступ в транспортной среде (WAVE): i. Выделенная связь малого радиуса действия (DSRC) — непрерывный воздушный интерфейс для большой и средней дальности (CALM) i. GSM2G/GPRS-2.5G ii. UMTS-3G iii. Инфракрасная связь	Пять типов коммуникационных технологий — беспроводной доступ в транспортной среде (WAVE): i. выделенная связь малого радиуса действия (DSRC) — непрерывный воздушный интерфейс для дальней и средней дальности (CALM): i. GSM2G/GPRS-2.5G ii. UMTS-3G iii. Инфракрасная связь — Bluetooth — ZigBee — 4G/LTE
Совместимость	Из-за несовместимой архитектуры сети персональное устройство не может взаимодействовать с автомобилем, что приводит к проблемам использования сети	Благодаря встроенным функциям Интернета вещей можно эффективно интегрировать передачу информации между другими узлами, такими как персональные устройства и интеллектуальные устройства
Удобство использования	Локальное и дискретное, которое подходит для применения в ограниченных масштабах, например, для оповещения и информирования водителей о любых происшествиях на дорогах или для предотвращения столкновений	Обладает гибкостью и устойчивостью применения, для чего имеются вычислительные сети и коммуникационные возможности
Мощность обработки	Имеет ограничения в плане вычислительной мощности для обработки локальной информации, собранной датчиками в окружающей среде	Сети подключены к облаку, что позволяет анализировать большие данные с помощью облачных вычислений. Обработка производится в облаке, что включает в себя анализ данных и сбор информации в режиме реального времени

Прежде всего, необходимо акцентировать внимание на том, что текущая архитектура автомобильных сетей не отвечает основным требованиям, предъявляемым к современным транспортным системам и их приложениям, таким как гибкость и масштабируемость протоколов маршрутизации [4]. Развертывание беспроводных сетей на интеллектуальных шоссе сопряжено с определенными трудностями.

Во-первых, необходимость разработки и реализации сетевой архитектуры, адаптированной к беспроводным технологиям. Это включает в себя выбор топологии и адекватного набора коммуникационных

протоколов, способных обеспечить необходимую автономность.

Во-вторых, жесткие ограничения (в основном по энергопотреблению и возможностям памяти/обработки) узлов сети сильно влияют на задачу принятия решений по ее архитектуре.

Для преодоления обозначенных сложностей, по мнению автора, особого внимания заслуживает новая технология, названная программно-определяемой сетью (SDN), которая модернизирует архитектуру IoV для эффективной и оптимизированной методологии марш-

рутизации. С увеличением количества транспортных средств и дорожно-транспортных происшествий невозможно управлять огромным трафиком больших городов распределенным образом. С развитием коммуникационных технологий SDN позволяет управлять IoV логически централизованно через гетерогенные сети (сотовые сети, придорожные устройства и т.д.) [5]. В настоящее время SDN рассматривается в основном для управления фиксированными сетями, особенно в сетях доступа и центрах обработки данных [6]. Однако, если применить ее к IoV, она также может улучшить транспортную связь на интеллектуальном шоссе. Сравнение технологий VANET и SDN-IoV представлено в таблице 1.

Для того, чтобы спроектировать архитектуру беспроводных сетей для подвижных объектов кратко выделим требования, которым должна отвечать сеть:

1. Топология и динамика сети будет плоской. Это означает, что все узлы сети будут принадлежать к одному уровню иерархии, т.е. будут иметь одинаковые функции и аппаратные компоненты.
2. Географическая информация: узлы должны получать географическую информацию (т.е. координаты) для определения местоположения обнару-

женных событий в контролируемой зоне (в нашем случае — движущихся транспортных средств).

3. Эффективность энергопотребления: важно, чтобы узлы сети работали долго (не менее 2–3 лет), поскольку каждая замена батарей потребует временного прекращения дорожного движения. Ключевым моментом здесь является максимально возможное распределение энергопотребления между всеми узлами сети, чтобы избежать раннего истощения энергии небольшого количества узлов.
4. Обнаружение спорадических событий: в рамках рассматриваемого предметного поля обнаружение событий носит случайный характер, поскольку не существует предопределенного шаблона трафика транспортных средств.
5. Надежность обнаружения событий: высокая важность некоторых критических событий, которые могут быть обнаружены приложением (например, движение автомобиля в противоположном направлении), делает очень важным высокий уровень надежности выявления тех или иных происшествий.

Таким образом, с учетом отмеченного, на рис. 1 представлена разработанная автором архитектура беспро-

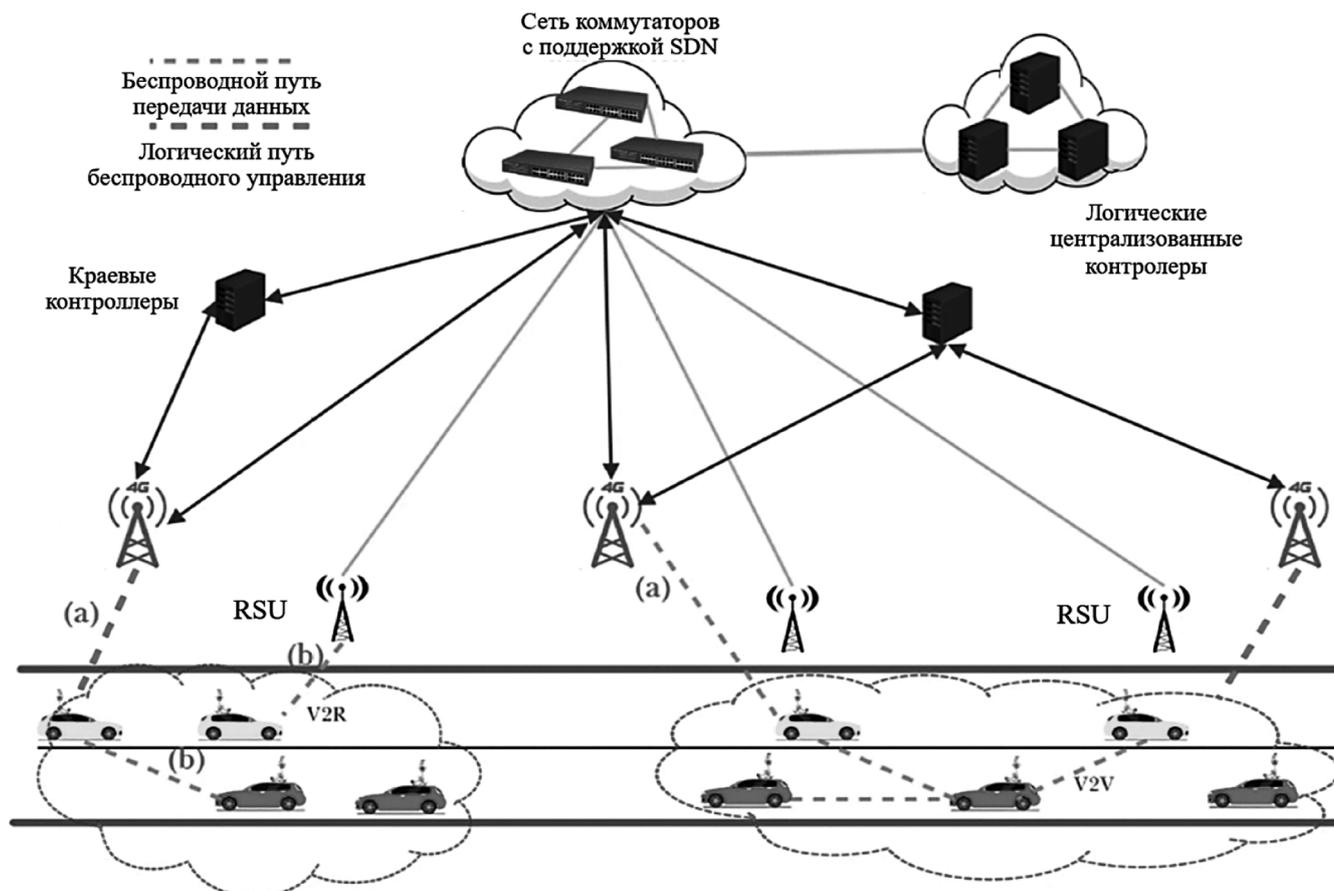


Рис. 1. Архитектура SDN-IoV для подвижных объектов: а) управляющие сообщения от транспортных средств; б) многоходовая связь (транспортное средство — транспортное средство, транспортное средство — устройство на обочине)

водных сетей на основе SDN-IoV для подвижных объектов. При этом предполагается, что движущиеся транспортные средства оборудованы широкими блоками (OBU) (блоки на базе IEEE802.11p), а вдоль дорог расположены придорожные коммуникационные инфраструктуры, которые называются придорожными блоками (RSU).

Предложенная на рис. 1 архитектура состоит из программного обеспечения, названного контроллером, который исследует базовую топологическую информацию, чтобы описать правила пересылки данных, а транспортные средства выступают в качестве немых устройств пересылки. Предлагаемый механизм разделяет трафик управления и трафик данных путем разделения каналов связи, RSU используются для пересылки данных, а сотовая сеть — для передачи трафика управления. В SD-IoV каждое транспортное средство распознается как открытый виртуальный коммутатор с правилами передачи данных, установленными в таблицах потоков [7].

Система использует базовую архитектуру приложения связи транспортного средства с инфраструктурой выделенной связи ближнего радиуса действия, состоящей из RSU и OBU, где RSU подключаются через магистраль Ethernet. Каждый RSU покрывает ячейку размером 500 метров, что позволяет всем автомобилям, приближающимся к перекрестку, иметь возможность связаться с RSU. RSU через широкоэвещательные пакеты отправляет информацию сигнализации на основе полученной информации о трафике. На любых конкрет-

ных перекрестках дорог, например, перекрестках или T-образных перекрестках, RSU можно использовать для передачи информации о сигналах дорожного движения на OBU. Как следствие водителю приходится реагировать на информацию, получаемую бортовыми блоками, встроенными в навигационную систему автомобиля.

Механизм работы взаимодействия массивов между RSU и OBU показан на рис. 2. RSU передает сигнальную информацию на основе измеренной статистики транспортного потока. Когда OBU входит в зону действия RSU и получает первое широкоэвещательное сообщение от RSU, OBU продолжает отправлять одноадресные сообщения с интервалом в 5 с соответствующему RSU, чтобы обновить свою скорость, положение (широту и долготу) и время достижения перекрестка. RSU обновляет список активных OBU в диапазоне через каждые 5 с и ежесекундно передает всем OBU текущее состояние сигнала светофора. Сравнивая оставшееся время до перекрестка и текущую длительность фазы сигнала, OBU может определить, какая фаза сигнала будет зеленой, желтой или красной, когда автомобиль достигнет перекрестка.

Таким образом, OBU может предпринять необходимые действия, например, замедлиться или продолжить движение с текущей скоростью, основываясь на полученной информации.

На рисунке 3 показан принцип работы описываемой системы.

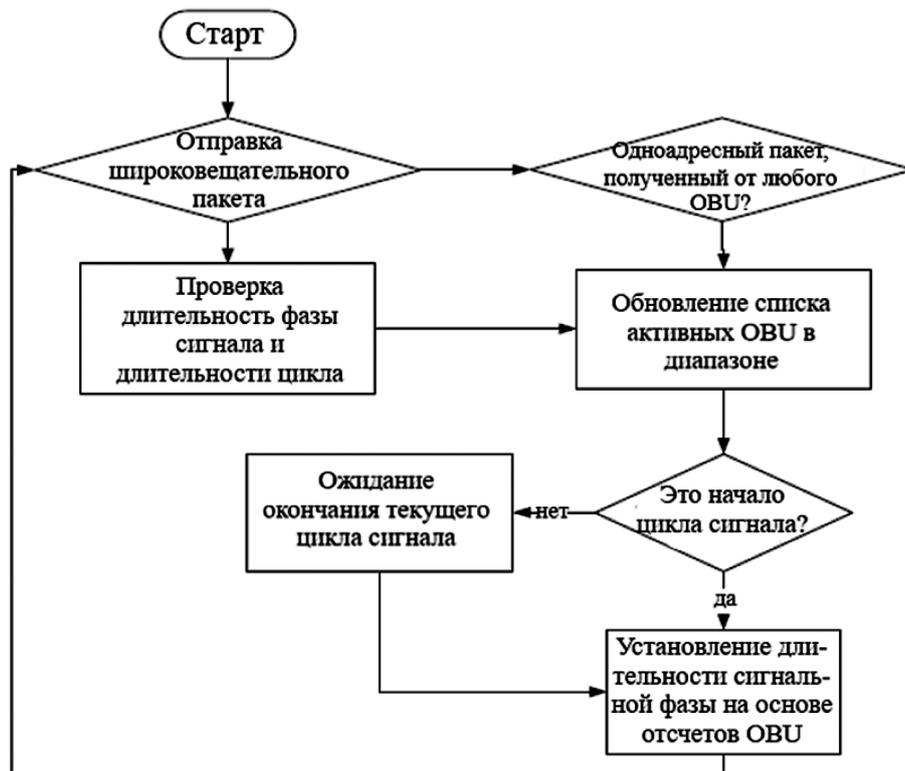


Рис. 2. Блок-схема алгоритма адаптивной трансляции сигналов дорожного движения в RSU

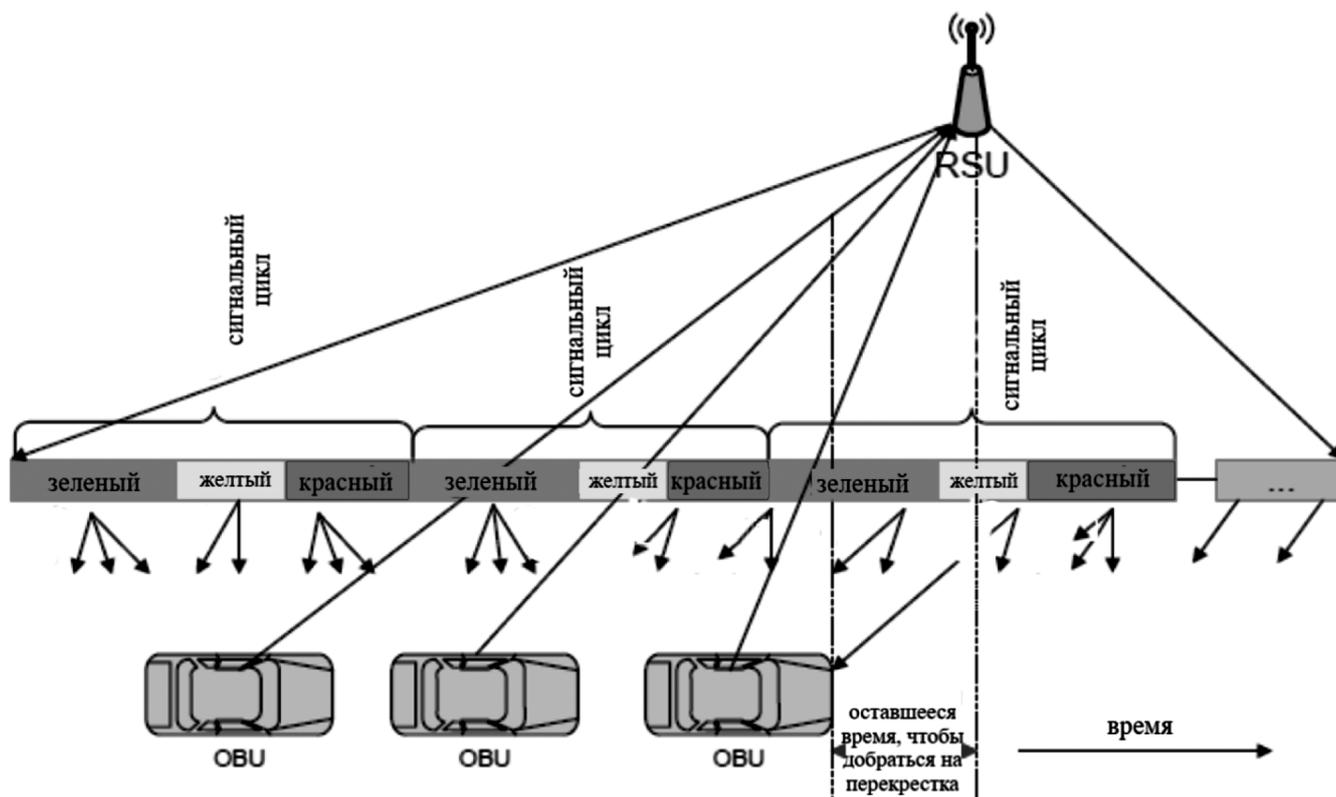


Рис. 3. Принцип работы предлагаемой архитектуры SDN-IoV для подвижных объектов

Принимая во внимание требования, предъявляемые к беспроводным сетям для подвижных объектов, можно определить функциональные возможности, которые должен поддерживать уровень узлов в сети.

Первая проблема, с которой приходится сталкиваться сетевому протоколу, — это высокая динамичность топологии, обусловленная в основном тремя факторами: неисправностями, добавлением и мобильностью узлов [8]. Также большое количество узлов является существенной проблемой, которую необходимо учитывать на сетевом уровне. Традиционные методы маршрутизации, основанные на обнаружении маршрутов «точка-точка», резервировании ресурсов на пути и повторном выявлении альтернативных маршрутов при изменении топологии, не подходят. Начальные задержки, наблюдаемые в этих методах, чрезмерны для аperiodических моделей генерации пакетного трафика с жесткими требованиями к задержке. Кроме того, нецелесообразно резервировать ресурсы для непредсказуемого и аperiodического трафика, поскольку большую часть времени эти ресурсы будут использоваться не полностью. Даже если потоки трафика периодичны и непрерывны, полезность этих методов маршрутизации невелика, поскольку динамика сети приводит к частым перерывам в обслуживании и последующей активации процедур восстановления маршрутов [9].

В процессе восстановления маршрутов данные могут с большими задержками добираться до источника, что

неприемлемо при работе с критически важными приложениями. Наконец, механизмы, основанные на установлении маршрутов «точка-точка», плохо масштабируются, так как они несут большие накладные расходы при обнаружении и восстановлении маршрутов, и каждый узел должен хранить таблицы состояния этих маршрутов [10]. Чтобы избежать влияния изменений топологии, предлагается использовать сетевой уровень, реализующий локализованный механизм маршрутизации. Этот тип маршрутизации обеспечивает адаптивность к динамическим изменениям топологии, поскольку узлам сети не нужно получать глобальную информацию о состоянии узлов. Как следствие, при изменениях топологии, связанных с добавлением, выходом из строя или мобильностью узлов, не будет возникать значительного количества управляющих пакетов.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы.

В настоящее время дорожное движение является важной проблемой во многих промышленно развитых странах. Этот факт делает необходимым создание дорожно-транспортной системы, основанной на беспроводных технологиях и сетях, характеризующейся высокой динамичностью, что позволит снизить уровень заторов и инцидентов. В данной работе предложена архитектура беспроводной сети на базе SDN-IoV для подвижных объектов. Преимущества SDN-IoV, применяемые для управления дорожным движением, позволяют про-

ектировать и разрабатывать системы с высоким уровнем автономности и интеллектуальности. Возможности таких систем по управлению и получению информации о дорожном движении огромны.

В тоже время сложность SDN-IoV требует детального анализа и проектирования архитектуры сети (включающей стек протоколов связи, физическую передачу данных, топологию и т.д.), подходящей для небольших устройств (сенсорных узлов).

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов В.В., Ченцова П.В., Чернышев А.С., Чуватов М.В. Интеграция микро и макромоделей для моделирования транспортных потоков в интеллектуальных транспортных системах // Мягкие измерения и вычисления. 2020. Т. 35. № 10. С. 5–16.
2. Сухопара Н.С. Анализ различных типов беспроводных сетей, применяемых для создания сети группы автономных транспортных средств // Научно-исследовательский центр «Technical Innovations». 2023. № 17. С. 53–59.
3. Samir A. Elzagheer Mohamed Intelligent Traffic Management System Based on the Internet of Vehicles (IoV) // Journal of Advanced Transportation. 2021. Volume 2021, Issue 1. P. 31–38.
4. Намиот Д.Е., Покусаев О.Н., Чекмарев А.Е. Модели сетевой близости в информационных системах на транспорте // International Journal of Open Information Technologies. 2020. Т. 8. № 9. С. 53–58.
5. Atefeh Hemmati, Mani Zarei A systematic review of congestion control in internet of vehicles and vehicular ad hoc networks: Techniques, challenges, and open issues // International Journal of Communication Systems. 2023. Volume 37, Issue 1. P. 76–82.
6. Ming Mao, Peng Yi Roadside infrastructure deployment scheme based on Internet of Vehicles information service demand // Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. 2022. Volume 34, Issue 1. P. 198–204.
7. Дымкова С.С. Облачные IoT платформы и приложения для оптимизационного управления транспортом // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2020. Т. 10. № 4. С. 39–50.
8. Qiang Luo, Meining Ling Modeling Analysis of Improved Minimum Safe Following Distance under Internet of Vehicles // Journal of Advanced Transportation. 2022. Volume 2022, Issue 1. P. 30–39.
9. Yaser Taj, Bahador Bakhshi Reliable and infrastructure-independent routing for the internet of vehicles // International Journal of Communication Systems. 2023. Volume 36, Issue 8. P. 66–73.
10. Азиев Я.Г.О., Алиев Ш.Ю.О., Алиева Л.М.К. Перспективы развития и сдерживающие факторы интернет вещей в транспортной отрасли // Интернаука. 2024. № 7-2 (324). С. 21–23.

© Скориков Иван Олегович (i-skorikov@internet.ru); Хорошко Максим Болеславович (clevermaks@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АНАЛИЗ СТРАТЕГИЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ ИНСАЙДЕРСКОЙ УГРОЗЫ В ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ

ANALYSIS OF INFORMATION PROTECTION STRATEGIES AGAINST INSIDER ATTACKS IN CLOUD COMPUTING

V. Strizhkov

Summary. The subject of the research is the problem of the insider threat to information security in organizations using the cloud computing platform. The object of the study is security as one of the main problems when planning the implementation of the cloud. The author delves into the nature and manifestation of insider attacks, and considers various strategies to counter the malicious actions of insiders. Emphasis is placed on the dilemma of convenience and security of cloud environments, which, on the one hand, free organizations from the burden of data management and storage costs, but at the same time are more vulnerable to malicious impact. The main result of the study is the identification and formulation of relevant and priority vectors for the development of existing methods for ensuring the security of information from malicious actions of insiders in the cloud environment. A special contribution of the author is a fresh look at understanding the insider threat and a designated approach to countering this threat, which combines the detection of behavioral anomalies both on the basis of data from technical monitoring tools and from social and information networks, taking into account the psychological profiling of employees of the organization.

Keywords: insider threat, internal intruder, misuse of access, cloud computing, network activity monitoring, information security.

Стрижков Владислав Александрович

Аспирант, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации» (г. Москва)
218668@edu.fa.ru

Аннотация. Предметом исследования является проблема инсайдерской угрозы информационной безопасности в организациях, использующих платформу облачных вычислений. Объектом исследования является безопасность как одна из главных проблем при планировании внедрения облака. Автор углубляется в характер и проявление инсайдерских атак, а также рассматривает различные стратегии противодействия злонамеренным действиям внутренних нарушителей. Акцент делается на дилемме удобства и безопасности облачных сред, которые, с одной стороны, освобождают организации от бремени затрат на управление данными и их хранение, но в то же время оказываются более уязвимы перед лицом вредоносного воздействия. Основным результатом проведенного исследования является выделение и формулировка актуальных и приоритетных векторов развития существующих методов обеспечения безопасности информации от злонамеренных действий внутренних нарушителей в облачной среде. Особым вкладом автора выступает свежий взгляд на понимание инсайдерской угрозы и обозначенный подход противодействия этой угрозе, сочетающий обнаружение аномалий поведения как на основе данных из технических средств мониторинга, так и из социальных и информационных сетей с учетом психологического профилирования сотрудников организации.

Ключевые слова: инсайдерская угроза, внутренний нарушитель, неправомерное использование доступа, облачные вычисления, мониторинг сетевой активности, безопасность информации.

Введение

Проблемы кибербезопасности часто освещаются для широкой публики в средствах массовой информации, при этом акцент на обыкновенно делается на внешние атаки хакерских группировок. И несмотря на то, что именно внутренняя угроза остается более насущной проблемой, с которой сталкиваются компании, ей, тем не менее, не уделяется того внимания, которого она заслуживает. Клейкомб и Николь [1], дали исчерпывающее определение злонамеренного инсайдера как «нынешнего или бывшего сотрудника, подрядчика или другого делового партнера, который имеет или имел санкционированный доступ к сети, системе или данным организации и умышленно превышал или злоупотреблял этим доступом таким образом, что это отрицательно повлияло на конфиденциальность, целостность или доступность информации или информационных систем организации».

Существует достаточно доказательств того, что внутренние угрозы реальны и достигают уровня внешней угрозы. Например, Роберт Ричардсон в ходе исследования компьютерных преступлений [2] указал, что около 44 % всех организаций так или иначе приходилось сталкиваться со злоупотреблением компьютерными системами, потерей ноутбуков и кражей данных клиентов. Сара Питерс сообщает, что до 60 % всех финансовых потерь компаний вызваны инсайдерами. В (табл. 1) показаны четыре основные категории угроз, исходящие от внутренних нарушителей, а также процент респондентов, посчитавших, что эти угрозы действительно могут быть реализованы при текущем уровне защиты в их компаниях, согласно отчету Computer Security Institute [2].

Как ни странно, умеренный уровень беспокойства по поводу злонамеренных инсайдеров противоречит количеству инцидентов, о которых фактически сообщают те же самые организации.

Таблица 1.
Оценка различных внутренних угроз

Размер организации	Несанкционированное действия с конфиденциальной информацией		Мошеннические транзакции	Саботаж системы
	Доступ	Разглашение		
Маленький	29 %	31 %	24 %	24 %
Средний/ Большой	30 %	38 %	30 %	26 %

В этой статье мы рассматриваем проблему внутренних угроз в области облачных вычислений, которые, благодаря экономическим и техническим преимуществам, в последнее время получили широкое признание. Организации могут передать свою ИТ-инфраструктуру в облако и получить выгоду, в том числе быстрое выделение ресурсов, масштабируемость и экономию средств. Хотя организации ценят гибкость, масштабируемость и управление ресурсами, предоставляемые платформами облачных вычислений, безопасность в целом и вредоносные внутренние угрозы в частности считаются одной из основных проблем при использовании облачных вычислений. Внутренние атаки всегда считаются серьезным риском, поскольку злонамеренные инсайдеры могут повлиять на безопасность многих пользователей. Кроме того, этот риск инсайдерских атак будет более серьезным и разрушительным при использовании облачных вычислений. Таким образом, защита облачных вычислений от внутренних угроз важна для завоевания доверия пользователей. В этой статье анализируются и различные инсайдерские угрозы, характерные для облака. На основании реальных случаев инсайдерских атак, демонстрируется, как встроенная облачная архитектура способствует их успешному проведению.

Статья структурирована следующим образом: В разделе 2 обсуждаются облачные вычисления и вопросы безопасности. В разделе 3 объясняются мотивы и уровень опасности инсайдерских угроз, характерных для облачных вычислений. В разделе 4 обсуждается анализ существующих стратегий и методов смягчения последствий для сокращения количества инсайдеров в облачных вычислениях. Раздел 5 завершает документ и определяет направление будущих исследований.

Облачные вычисления и вопросы безопасности

Облачные вычисления — это тип параллельной и распределенной системы, состоящей из набора взаимосвязанных и виртуализированных компьютеров, которые динамически выделяются и представляются как один или несколько унифицированных вычислительных ресурсов на основе соглашений об уровне обслуживания, установленных в ходе переговоров между постав-

щиком услуг и потребителями. Облачные вычисления — это новая парадигма хостинга и предоставления услуг через Интернет [3]. Он объединяет многие вычислительные концепции и технологии, такие как сервис-ориентированная архитектура (SOA), Web 2.0, виртуализация и другие технологии, зависящие от Интернета.

Согласно общепринятой классификации, существуют три сервисные модели облачных вычислений [4]:

а) Программное обеспечение как услуга (SaaS) — возможность, предоставляемая потребителю, заключается в использовании приложения поставщика, работающего в облачной инфраструктуре. В этой модели программное приложение размещается как служба, и конечные пользователи используют приложение в веб-браузере.

б) Платформа как услуга (PaaS) — возможность, предоставляемая потребителю, заключается в развертывании в облачной инфраструктуре его собственных приложений без установки какой-либо платформы или инструментов на их локальных компьютерах. В этой модели конечный пользователь создает, тестирует и загружает приложение, используя инструменты и библиотеки, размещенные поставщиком услуг.

в) Инфраструктура как услуга (IaaS) — возможность, предоставляемая потребителю, заключается в обеспечении обработки, хранения, сетей и других основных вычислительных ресурсов, где потребитель может развертывать и запускать произвольное программное обеспечение, которое может включать операционные системы и приложения. Эта модель включает в себя размещение аппаратных вычислительных услуг, таких как хранилище, жесткий диск, серверы и сетевые компоненты. Поставщик услуг несет ответственность за обслуживание и управление всеми этими ресурсами.

Облачные вычисления обеспечивают повсеместный и удобный сетевой доступ по запросу к общему пулу настраиваемых вычислительных ресурсов, таких как сети, серверы, хранилища, приложения и услуги, которые можно быстро подготовить и выпустить с минимальными усилиями по управлению или взаимодействием с поставщиком услуг. Облачные системы очень экономичны и полезны для предприятий любого размера, среди их преимуществ: безграничная гибкость с доступом к миллионам различных баз данных и возможность объединять их в индивидуальные услуги; повышение надежности и безопасности, поскольку пользователям больше не нужно беспокоиться о сбое оборудования или его краже; расширенное сотрудничество за счет возможности онлайн-обмена информацией и приложениями, облако предлагает пользователям новые способы совместной работы и сотрудничества; переносимость, поскольку пользователи могут получить доступ к своим

данным из любого места; более простые устройства, поскольку данные хранятся и обрабатываются в облаке, пользователям просто нужен интерфейс для доступа и использования этих данных, игр и т. д.; неограниченное хранилище, поскольку облако предлагает большое расширяемое хранилище, которое можно обновить при необходимости; доступ к быстрой вычислительной мощности с использованием новейших технологий и инфраструктуры, что ускоряет предоставление услуг.

Несмотря на множество преимуществ внедрения облачных вычислений, с ним также связаны некоторые ограничения. Безопасность — самая большая проблема в облачных вычислениях. Это связано с тем, что облако предлагает услугу хранения в удаленном месте, и потребители должны доверять поставщику облака, даже если потребители не знают, что происходит с их данными. По мнению ряда специалистов ИБ, внешнее хранилище данных, зависимость от общедоступного Интернета и отсутствие контроля над данными в совокупности делают облачные вычисления рискованными для многих проблем безопасности [5].

Поскольку отдельные лица и предприятия производят все больше и больше данных, которые необходимо хранить и использовать (электронная почта, личные медицинские записи, фотоальбомы, факсимильные документы, финансовые операции и т.д.), они заинтересованы в передаче своих локальных сложных систем управления данными в облако благодаря его большей гибкости и экономичности. Однако, как только пользователи больше физически не владеют своими данными, их конфиденциальность и целостность могут оказаться под угрозой. Традиционно для контроля за распространением конфиденциальных данных устанавливается доверенный сервер для локального хранения данных в открытом виде, а затем этот сервер контролируется, чтобы проверять, предоставляют ли запрашивающие пользователи надлежащие учетные данные, прежде чем им будет предоставлен доступ к данным. С точки зрения безопасности эта система управления доступом больше не применима, когда данные хранятся в облаке. Это связано с тем, что пользователи и облачные серверы расположены в разных географических точках, и серверу больше нельзя полностью доверять для определения и применения политик контроля доступа и управления сведениями о пользователях. В случае компрометации сервера или возможных внутренних атак личные данные пользователей могут быть раскрыты. Потеря прямого контроля над своими данными является основной проблемой безопасности для клиентов. Перемещая свои личные данные в облако, пользователи вынуждены доверять поставщикам облачных услуг безопасное и надлежащее управление своими данными.

Среди угроз безопасности в облаке серьезную опасность для клиентов представляют внутренние угрозы,

такие как злонамеренные действия системных администраторов. Проблема сложная, потому что системные администраторы имеют повышенные привилегии для выполнения реальных задач по обслуживанию и администрированию системы. Еще одна возможность атаки, которую необходимо учитывать, — это ИТ-саботаж, когда сотрудники пытаются нанести вред ИТ-инфраструктуре работодателя. Недовольство инсайдера поставщиком облачных услуг может привести к причинению вреда организации-жертве с намерением нанести ущерб репутации поставщика облачных услуг [1, 6].

Инсайдерская угроза в Облаке

Как правило, инсайдеры совершают действия, противоречащие политике безопасности, используя свой легитимный доступ. В противном случае, не имея желаемого уровня доступа к данным ввиду отсутствия соответствующих полномочий в рамках своей функциональной роли в организации инсайдеры стараются злоупотреблять возможностями расширения пользовательских привилегий, что позволяет им нарушать как контроль доступа, так и политики безопасности и получать избыточную информацию, в которой они не нуждались бы при честном исполнении своих трудовых обязанностей. Они стараются заполучить роль доверенных лиц, которые имеют максимально возможные привилегии и доступ к ключевым активам. Так, чрезмерные и ненужные привилегии пользователей систем — это значительная уязвимость перед лицом инсайдерских атак.

Наиболее опасные инсайдеры могут потенциально образоваться из наиболее опытных и даже ценных сотрудников. Они хорошо обучены и хорошо разбираются в инфраструктуре, инструментах и оборудовании для выполнения своих задач. Они осведомлены о задачах, видении, стандартных операционных процедурах, правилах, положениях и условиях, а также политике организации. Однако они могут внезапно превратиться в противников, когда недовольны принимаемыми организацией решениями, их требования не выполняются, они не получают справедливого вознаграждения и организация плохо к ним относится. Они более опасны по сравнению с внешним хакером, потому что они могут выполнять вредоносные действия очень структурированным образом, плавно, быстро и нечетко, что может серьезно повлиять на организацию.

Инсайдерские атаки могут выполняться злоумышленниками на территории провайдера или пользователя. Злоумышленник может легко получить пароли, криптографические ключи и файлы. Эти атаки могут включать в себя различные виды мошенничества, повреждения или кражи информации и неправомерного использования ИТ-ресурсов. Угроза вредоносных атак возросла из-за отсутствия прозрачности в процессах и процеду-

рах облачного провайдера. Это означает, что провайдер может не раскрывать, как сотрудникам предоставляется доступ и как этот доступ контролируется или как анализируются отчеты, а также соответствие политикам. Кроме того, пользователи плохо осведомлены о методах найма своего провайдера, которые могут открыть дверь для хакеров или других злоумышленников в Облако, чтобы украсть конфиденциальную информацию или получить контроль над Облаком. Предоставленный уровень доступа может позволить злоумышленникам собирать конфиденциальные данные или получить полный контроль над облачными службами практически без риска обнаружения. Поэтому перемещение критически важных приложений и конфиденциальных данных в общую облачную среду является серьезной проблемой. Это связано с тем, что организация теряет контроль над данными и полностью зависит от безопасности и защиты данных облачного провайдера. Чтобы смягчить эти опасения, поставщик облачных решений должен гарантировать, что клиенты могут по-прежнему пользоваться теми же средствами контроля безопасности и конфиденциальности своих приложений и служб, предоставляя этим клиентам доказательства того, что их организация и клиенты защищены.

Анализ стратегий смягчения последствий

Одними из первых рассмотрели проблему управления конфиденциальной информацией в среде совместных информационных систем (CIS) Чен и Малин [7]. Они предложили структуру под названием «Система обнаружения аномалий на базе сообщества» (CADS) для обнаружения внутренних угроз на основе информации, записанной в журналах доступа к средам совместной работы. CADS использует формальную статистическую модель для измерения отклонения пользователей от предполагаемых сообществ, чтобы предсказать, какие пользователи являются аномальными, путем анализа журналов доступа к CIS и, следовательно, изучения моделей поведения пользователей для обнаружения аномальных инсайдеров.

Чиа Мей, Гуан и др. [8] исследовали проблему последовательности действий при атаке для компрометации системы в облаке. Злоумышленник может сочетать несколько уязвимостей в системе безопасности и часто применяет подход к постоянной атаке, состоящий из последовательности атакующих действий в интеллектуальной атаке. Инсайдер может злоупотреблять облачными вычислениями или атаковать несколько машин в облаке. Это наносит более серьезный ущерб, чем в сетевой среде, где машины распределены и независимы. Поэтому авторы предложили Скрытую марковскую модель для обнаружения таких атак путем изучения этапов плана атаки и анализа журналов для определения последовательности атак.

В своём исследовании Жунь-Хо, Мин-Ву и др. [9] решили проблему того, что инсайдеры используют свои легитимные полномочия для утечки информации в сеть. Инсайдеры могут использовать привилегии программы и запускать программу ненормальным образом, чтобы достичь целей своей атаки. Поэтому авторы применили дерево атак и специальный монитор неправомерного использования, чтобы уменьшить нарушение безопасности за счет выявления инсайдерской информации, предотвращения ненормальных действий инсайдеров, предотвращения неправомерного использования ресурсов и управления политикой безопасности и обновления базы данных.

Йезин и Панда [10] исследовали проблему злонамеренных модификаций реляционных баз данных инсайдерами. Зависимости могут использоваться инсайдерами для внесения несанкционированных изменений в данные. Инсайдеры могут изучать ограничения на зависимости между таблицами, атрибутами и элементами данных для изменения данных. Поэтому сокрытие зависимостей от инсайдеров может помешать им изменить данные. Однако они все еще могут обнаружить скрытые зависимости, сотрудничая и обмениваясь информацией о различных зависимостях между собой. Для предотвращения модификаций были разработаны два метода: алгоритм разреза и граф модификации. Алгоритм разреза определяет, какие зависимости следует скрыть. Изменения, сделанные авторизованными и неавторизованными инсайдерами, создают графы модификаций инсайдеров. Граф модификации, сгенерированный алгоритмами, показывает разрешенные и неавторизованные элементы данных, которые может изменить инсайдер.

Отдельного внимания заслуживает подход Брличка и др. [11], в котором они рассматривают проблему обнаружения злонамеренного внутреннего нарушителя путем мониторинга сетевой активности и использования корпоративных приложений с помощью анализа графов, динамического отслеживания и машинного обучения. Эти инструменты могут точно идентифицировать известные атаки, но они реагируют и могут ускользнуть от ранее невидимого враждебного поведения. Поэтому авторы предложили подход, сочетающий обнаружение структурных аномалий из социальных и информационных сетей и психологическое профилирование индивидуумов. Психологическая модель позволит определить лиц, обладающих мотивацией и способностью совершить нападение.

Также не менее полезна может быть платформа, предложенная Нитиянандам, Тамилселван и др. [12]. Структурно она поделена на уровни для мониторинга активности пользователей с целью предотвращения злонамеренных действий изнутри. Платформа предотвращает аномальные действия инсайдеров в ИС, отслеживая актив-

ность точки использования. Она отслеживает носители передачи данных и проверяет неправомерное использование ресурсов инсайдером, сравнивая переданный ресурс с базой данных.

Заключение

Инсайдерские атаки, существующие в облачной системе, пытаются использовать ее слабые места и представляют серьезную угрозу для организаций. Благодаря гибкости облачной системы злоумышленники-инсайдеры могут манипулировать привилегиями для удаленного доступа к конфиденциальной информации. Хуже того, вредоносную активность внутри системы поставщика

облачных услуг трудно обнаружить, когда в облачной среде существует сговор и сотрудничество между несколькими инсайдерами или между инсайдером и злоумышленниками извне. И это может иметь серьезные последствия для конфиденциальности, целостности и доступности данных. Однако до сих пор не существует однозначного и исчерпывающего подхода по противодействию инсайдерской угрозе в Облаке. Для решения этой проблемы необходимо взвешенное сочетание как организационных методов, так и технических средств и систем защиты с учётом специфики деятельности конкретной организации и, конечно же, дальнейшие исследования в данной сфере для создания принципиально новых подходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Claycomb, W.R., & Nicoll, A. (2021). Insider Threats to Cloud Computing: Directions for New Research Challenges. Paper presented at the Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), IEEE 36th Annual.
2. Richardson, Robert. (2018). CSI computer crime and security survey. Computer Security Institute, 1, 1–30.
3. Buyya, Rajkumar, Yeo, Chee Shin, Venugopal, Srikumar, Broberg, James, & Brandic, Ivona. (2019). Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. *Future Generation computer systems*, 25(6), 599–616.
4. Jianfeng, Yang, & Zhibin, Chen. (2020). Cloud Computing Research and Security Issues. Paper presented at the Computational Intelligence and Software Engineering (CiSE), International Conference on.
5. AlZain, M.A., Pardede, E., Soh, B., & Thom, J. A. (2021). Cloud Computing Security: From Single to Multi-clouds. Paper presented at the System Science (HICSS), 45th Hawaii International Conference on.
6. Sundararajan, Sudharsan, Narayanan, Hari, Pavithran, Vipin, Vorungati, Kaladhar, & Achuthan, Krishnashree. (2011). Preventing Insider Attacks in the Cloud. In A. Abraham, J. Lloret Mauri, J. Buford, J. Suzuki & S. Thampi (Eds.), *Advances in Computing and Communications* (Vol. 190, pp. 488–500): Springer Berlin Heidelberg.
7. Chen, You, & Malin, Bradley. (2021). Detection of anomalous insiders in collaborative environments via relational analysis of access logs. Paper presented at the Proceedings of the first ACM conference on Data and application security and privacy.
8. Chia-Mei, Chen, Guan, D.J., Yu-Zhi, Huang, & Ya-Hui, Ou. (2012). Attack Sequence Detection in Cloud Using Hidden Markov Model. Paper presented at the Information Security (Asia JCIS), Seventh Asia Joint Conference on.
9. Jung-Ho, Eom, Min-Woo, Park, Seon-Ho, Park, & Tai-Myoung, Chung. (2021). A framework of defense system for prevention of insider's malicious behaviors. Paper presented at the Advanced Communication Technology (ICACT), 13th International Conference on.
10. Yaseen, Q., & Panda, B. (2020). Malicious Modification Attacks by Insiders in Relational Databases: Prediction and Prevention. Paper presented at the Social Computing (SocialCom), IEEE Second International Conference on.
11. Brdiczka, O., Juan, Liu, Price, B., Jianqiang, Shen, Patil, A., Chow, R., . . . Ducheneaut, N. (2021). Proactive Insider Threat Detection through Graph Learning and Psychological Context. Paper presented at the Security and Privacy Workshops (SPW), IEEE Symposium on.
12. Nithyanandam, C., Tamilselvan, D., Balaji, S., & Sivaguru, V. (2021). Advanced framework of defense system for prevention of insider's malicious behaviors. Paper presented at the Recent Trends In Information Technology (ICRTIT), International Conference on.

© Стрижков Владислав Александрович (218668@edu.fa.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ АДАПТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕПРЕРЫВНОЙ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Тарасов Вячеслав Сергеевич

Аспирант,

Российский технологический университет (РТУ МИРЭА)

slavatarasov207@gmail.com

FORMATION OF AN ADAPTIVE LEARNING MODEL BASED ON THE TECHNOLOGY OF CONTINUOUS KNOWLEDGE ASSESSMENT BASED ON THE RESULTS OF LEARNING EDUCATIONAL MATERIALS

V. Tarasov

Summary. The article presents current aspects of the development of the adaptive learning concept based on the technology of continuous knowledge assessment based on the results of mastering educational materials. This study is devoted to the modeling and algorithmization of adaptive learning based on modern technologies of continuous knowledge assessment. The article contains problems of practical implementation of currently existing forms of adaptive learning based on the work of electronic platforms. The solution to these problems requires elaboration of five issues in the context of the study: the concept of the learner and the subject area of research work; the concept of forgetting educational material; setting an instrumental task, highlighting its limitations; algorithm of the adaptive learning model; instrumental technology of continuous knowledge assessment based on the results of mastering educational materials, through which the algorithm of the adaptive learning model will be implemented.

Keywords: learning model; algorithm; continuous knowledge assessment technology; mastering educational materials; concept of the learner; concept of forgetting educational materials.

Аннотация. В статье представлены актуальные аспекты разработки концепции адаптивного обучения на базе технологии непрерывной оценки знаний по результатам освоения учебных материалов. Данное исследование посвящено моделированию и алгоритмизации адаптивного обучения на основе современных технологий непрерывной оценки знаний. Статья содержит проблемы практического осуществления существующих в настоящее время форм адаптивного обучения на базе работы электронных платформ. Решение указанных проблем требует проработки пяти вопросов в контексте исследования: концепция обучаемого и предметной области исследовательской работы; концепция забывания учебного материала; постановка инструментальной задачи, выделение её ограничений; алгоритм модели адаптивного обучения; инструментальная технология непрерывной оценки знаний по результатам освоения учебных материалов, посредством которой будет осуществляться алгоритм модели адаптивного обучения.

Ключевые слова: модель обучения; алгоритм; технология непрерывной оценки знаний; освоение учебных материалов; концепция обучаемого; концепция забывания учебных материалов.

Введение

Используемые в настоящее время формы обучения зачастую не учитывают индивидуальные потребности и особенности личности обучающихся, их потенциал к обучению, уровень знаний, внутренние предпочтения, мотивацию к освоению учебных материалов по конкретному образовательному профилю. Вместе с тем результативность обучения обусловлена инструментальными технологиями формирования и практического использования учебных материалов, позволяющих освоить новые знания обучающимся.

Решением актуальной проблемы учёта индивидуальных потребностей обучающихся выступает концепция адаптивного обучения, которая даёт возможность увеличить степень результативности приобретения профессиональных навыков на базе адаптивного учебного

контента. Адаптивное обучение подразумевает осуществление учебного процесса с использованием инструментальных образовательных технологий.

При этом содержание адаптивного учебного контента автоматически подбирается на электронной платформе под каждого обучающегося автоматически с учётом личностных характеристик и потенциала к обучению.

На сегодняшний день имеются IT-системы адаптивного обучения, тем не менее, отмечаются проблемы практического применения форм адаптивного обучения через электронные формы:

1. Отсутствует возможность у обучающегося формировать и редактировать адаптивный учебный контент, поэтому они малопривлекательны для целевой аудитории, стремящейся сформировать свои учебные курсы адаптивного обучения.

2. Закрытие для отечественных пользователей зарубежных ИТ-систем адаптивного обучения на фоне международных санкционных ограничений.
3. ИТ-системы адаптивного обучения обладают относительно высокой ценой.
4. В современных условиях в российском сегменте мало прикладных решений, которые позволяют сформировать и интегрировать учебные онлайн-курсы адаптивного обучения.

Актуальность работы

Практическое осуществление инструментальной системы в контексте концепции адаптивного обучения базируется на использовании концепции обучаемого, адаптивного контента, забывания учебного материала. Формирование новых либо выбор имеющихся подходов выступает актуальным аспектом проводимого научного исследования в связи с их воздействием на функциональную работу инструментальной системы, а также на адекватность достигаемых результатов.

Цель данного исследования — сформировать алгоритм адаптивного обучения на основе технологии непрерывной оценки знаний по результатам освоения учебных материалов.

Задачи исследования:

1. Выявить проблемы практического применения форм адаптивного обучения через электронные платформы.
2. Отразить алгоритм концепции адаптивного обучения на основе технологии непрерывной оценки знаний по результатам освоения учебных материалов.

Материалы и методы

Для выявления проблем практического применения форм адаптивного обучения через электронные формы, автором статьи был осуществлен анализ отечественной нормативно-правовой базы, теоретических источников академической литературы, аналитических документов, отражающих вопросы работы отрасли образования и ИТ-сектора в условиях международных санкционных ограничений.

Помимо аналитических методов, автором статьи использовались метод индукции, дедукции, анализа статистических временных рядов, математического моделирования, алгоритмизации, обработки количественных показателей с помощью SPSS.

Концепция обучающихся и предметной области научного исследования

Для того чтобы отразить алгоритм концепции адаптивного обучения на основе технологии непрерывной

оценки знаний по результатам освоения учебных материалов, целесообразно ввести характеристики концепции обучающихся и предметной области данного научного исследования:

1. Профессиональные компетенции учебного онлайн-курса, включающие субкомпетенции (промежуточные профессиональные компетенции, осваиваемые обучающимися).
2. Образовательные модули учебного онлайн-курса, их количество. Также учитываются период изучения обучающимися конкретного образовательного модуля, перечни входящих и выходящих профессиональных компетенций, достигаемые знания в разрезе профессиональных компетенций.
3. Обучающие тесты, позволяющие оценить остаточный уровень знаний в разрезе профессиональных компетенций. По одной профессиональной компетенции может быть два и более обучающих тестов.
4. Временной период: начала, окончания учебного онлайн-курса, а также текущий момент времени.
5. Элементы обучающихся: история освоения образовательных модулей каждого обучающегося, включающая параметры прохождения соответствующих модулей и период изучения выложенных учебных материалов; изменение знаний в разрезе профессиональных компетенций; актуальные данные по уровню знаний в разрезе профессиональных компетенций на текущую дату; параметры забывания обучающимся учебного материала, учитывая потребность в повторении пройденной информации.
6. Степень освоения учебных материалов обучающимися.
7. Недостаточность либо достаточность изучения профессиональных компетенций.
8. Образовательные модули, которые осуществляют профессиональные компетенции, изученные обучающимися недостаточно.
9. Двудольный граф, включающий входящие и выходящие профессиональные компетенции. Безусловно, что одна и та же профессиональная компетенция может быть входящей по конкретному образовательному модулю и выходящей по другому образовательному модулю.
10. Образовательная траектория обучающихся, обусловленная последовательностью освоения модулей профессиональных компетенций. При их изучении должен увеличиться уровень остаточных знаний в разрезе профессиональных компетенций. Принцип непротиворечивости определяет, что к моменту изучения выбранного образовательного модуля обучающийся должен освоить необходимые профессиональные компетенции, которые выступают входящими для выбранного образовательного модуля.

Концепция забывания учебных материалов

В общем виде сценарий освоения обучающимися учебных материалов подразумевает их приобретение и постепенное забывание. В современных условиях специфику происходящих умственных процессов не представляется возможным достаточно точно смоделировать. Тем не менее, было обосновано, что достигается эффект фиксации остаточных знаний к моменту завершения учебного онлайн-курса на удовлетворительном уровне посредством итеративной концепции [5]. В другом научном исследовании [1] была отражена вероятностная модель забывания и повторений учебной информации на базе введения произвольных циклов прохождения образовательных модулей. Полученная в этой работе модель схематично проиллюстрирована на рисунке 1.

Следовательно, когда обучающийся повторно осваивает учебные материалы, уровень его остаточных зна-

ний повысится к завершению учебного онлайн-курса. Помимо этого, концепция забывания учебных материалов будет учитывать индивидуальные характеристики обучающихся.

Однако целесообразно отметить, что при различной интенсивности повторения пройденной учебной информации концепция забывания учебных материалов примет вид, схематично изображенный на рисунке 2.

Вместе с тем проиллюстрированная зависимость (рисунок 2) была сформирована в соответствии с гипотезой о том, что обучающийся будет полностью восстанавливать объём знаний при повторении пройденной учебной информации. Тем не менее, в обучающей практике ситуация несколько другая, последующее прохождение обучающих тестов может отразить более низкий итоговый результат по сравнению с первым тестированием. Это подтверждается рисунком 3, где обучающийся при

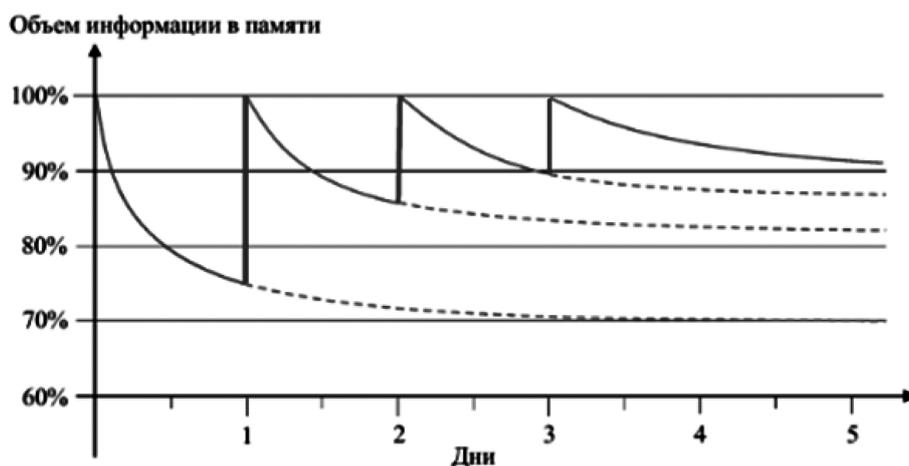


Рис. 1. Концепция забывания учебных материалов при использовании итераций [1]

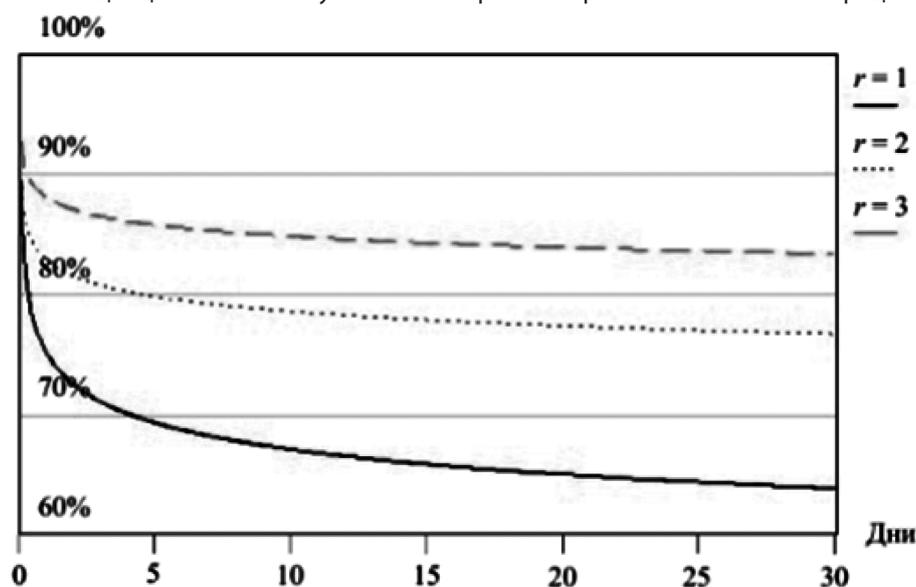


Рис. 2. Концепция забывания учебных материалов в условиях различной интенсивности повторений пройденной учебной информации [1]

выполнении первого обучающего теста показал 100 % освоения предложенных учебных материалов, а повторное тестирование уже показало 80 % остаточных знаний у данного обучающегося.

Это подтверждается рисунком 3, где обучающийся при выполнении первого обучающего теста показал 100 % освоения предложенных учебных материалов, а повторное тестирование уже показало 80 % остаточных знаний у данного обучающегося.

Практическое осуществление учебного онлайн-курса предполагает, что концепция забывания учебных материалов в рамках алгоритма будет использоваться по отношению к новым знаниям обучающихся.

Постановка инструментальной задачи, её ограничения

Ключевая идея концепции адаптивного обучения — формирование оптимальной образовательной траектории в ходе освоения модулей, имеющих в учебном онлайн-курсе.

Постановка инструментальной задачи: задано множество профессиональных компетенций, которые нужны для освоения обучающемуся; множество образовательных модулей, которые осуществляют эти профессиональные компетенции; временной промежуток, отведенный на прохождение учебного онлайн-курса. Вместе с тем одну профессиональную компетенцию могут осуществлять два и более образовательных модулей. В процессе освоения учебных материалов приобретение знаний обучающимися анализируется в диапазоне 0–100 % [3], [6], [7].

Основопологающая задача инструментальной системы адаптивного обучения — найти такой путь освоения образовательных модулей, для того чтобы при заверше-

нии учебного онлайн-курса уровень остаточных знаний у обучающихся был максимальным.

Целесообразно выделить ограничения инструментальной задачи:

1. Обязательное выполнение принципа непротиворечивости в ходе осуществления образовательных модулей.
2. На момент окончания образовательного модуля (освоения учебных материалов) уровень остаточных знаний по уже приобретенным профессиональным компетенциям уменьшается с течением определенного времени.
3. Профессиональная компетенция может осваиваться на выходе по двум и более образовательным модулям. Вместе с тем при однократном освоении учебных материалов можно предъявить лишь один образовательный модуль из всех пройденных альтернатив в разрезе профессиональных компетенций.
4. Общий период освоения образовательной траектории не может быть больше временного промежутка, отведенного на прохождение учебного онлайн-курса.

Алгоритм концепции адаптивного обучения на основе технологии непрерывной оценки знаний по результатам освоения учебных материалов

Общая схема алгоритма концепции адаптивного обучения на основе технологии непрерывной оценки знаний по результатам освоения учебных материалов, предлагаемого автором, проиллюстрирована на рисунке 4.

Навигационная поддержка пользователей адаптивного обучения реализуется по концепции «полного руководства», поскольку выступает достаточно распространенной при использовании таких образовательных

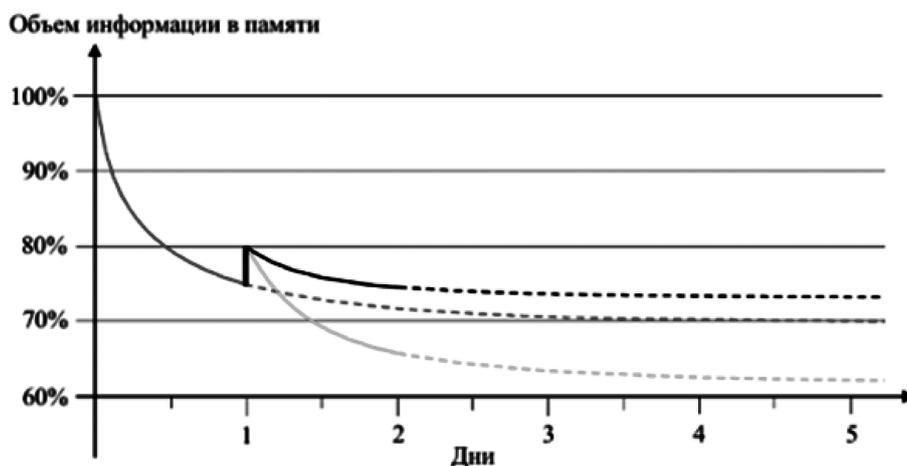


Рис. 3. Определение объема остаточных знаний обучающихся с учётом повторного прохождения учебных материалов [1]



Рис. 4. Общая схема алгоритма концепции адаптивного обучения на основе технологии непрерывной оценки знаний по результатам освоения учебных материалов

технологий [2]. Следовательно, электронная платформа самостоятельно установит последовательность осваиваемых обучающимся модулей в ходе прохождения учебного онлайн-курса. В данном случае для обучающихся недоступна свободная навигация.

Исходя из рисунка 4, каждый блок имеет нижеследующие характеристики:

1. Формирование выборки образовательных модулей, которые осуществляют недостаточно освоенные обучающимся профессиональные компетенции, следовательно, они удовлетворяют третьему и четвертому ограничениям инструментальной задачи. Недостаточная освоенность профессиональных компетенций устанавливается, если обучающийся не изучал предлагаемый образовательный модуль либо профессиональные компетенции с течением времени были утрачены в контексте концепции забывания учебных материалов.
2. Поиск P (образовательной траектории) осуществляется в контексте генетического алгоритма (ключевые положения приведены в источнике [4]), который проиллюстрирован на рисунке 5.
3. Предъявление P, другими словами, каждый пользователь в начале обучения получает первый образовательный модуль из общего множества P.
4. Оценка знаний обучающихся. Электронная платформа предоставляет каждому обучающемуся специальный тест на уровень знаний по пройденному образовательному модулю.
5. Актуализация S (знаний обучающихся). После того, как специальный тест на уровень знаний пройден, на электронной платформе происходит актуализация знаний обучающихся, их обновление, которое сохраняется в истории изменений. Вместе с тем происходит обновление элементов концепции обучаемого в соответствии с итоговыми результатами специального теста.
6. Окончание учебного онлайн-курса, которое происходит, если период онлайн-курса истек либо обучающимся изучены все профессиональные компетенции, освоены на удовлетворительном

уровне, что соответствует первому и второму ограничениям инструментальной задачи.



Рис. 5. Генетический алгоритм создания последовательности учебных модулей для эффективного освоения обучающимися

Генетический алгоритм создания последовательности учебных модулей для эффективного освоения обучающимися всегда будет иметь оптимальное решение, так как заранее вводятся условия, приостанавливающие его поиск:

1. Язык практического осуществления генетического алгоритма — C.
2. Осуществлялось три процесса оптимизации рассматриваемого алгоритма.
3. Исследовалась скорость реализации генетического алгоритма при изменении числа осваиваемых

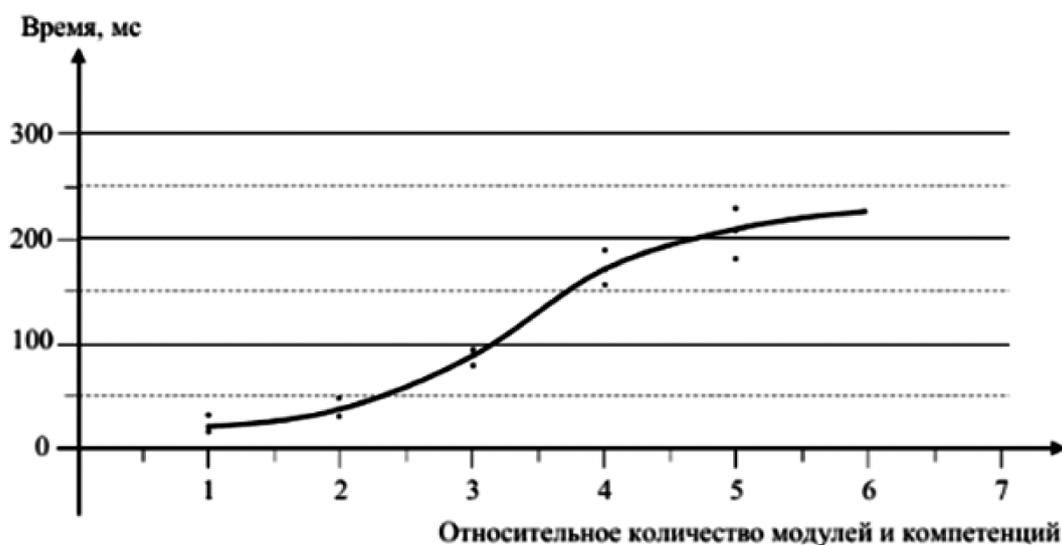


Рис. 6. Скорость реализации генетического алгоритма

профессиональных компетенций и образовательных модулей в учебном онлайн-курсе (рисунок 6).

4. Алгоритмизация проводилась на языке PHP.
5. Обнаружено, что на языке C алгоритм показал наиболее высокий уровень производительности.

Следовательно, период реализации генетического алгоритма зависит от числа осваиваемых профессиональных компетенций и образовательных модулей в учебном онлайн-курсе. Временное снижение исходной производительности электронной платформы отмечается в случае одновременного поступления разных пользовательских запросов.

Инструментальная технология непрерывной оценки знаний по результатам освоения учебных материалов

Алгоритм концепции адаптивного обучения на основе технологии непрерывной оценки знаний по результатам освоения учебных материалов будет реализовываться

в веб-ориентированной электронной платформе, работающей в ограниченной сети.

Подобной электронной платформой является Moodle (среда дистанционного обучения), которая, в свою очередь, наиболее распространена в отрасли образования [8], [9]. Поэтому именно она была выбрана для реализации алгоритма концепции адаптивного обучения на основе технологии непрерывной оценки знаний по результатам освоения учебных материалов

Выводы

В исследовании были выявлены проблемы практического применения форм адаптивного обучения через электронные платформы.

Представлен алгоритм концепции адаптивного обучения на основе технологии непрерывной оценки знаний по результатам освоения учебных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буймов А.Г. Вероятностная модель эффекта повторений в обучении / А.Г. Буймов, Б.А. Буймов // Доклады ТУСУР. — 2010. — № 1. — С. 236–242.
2. Волянская Т.А. Методы и технологии адаптивной гипермедиа / Т.А. Волянская // Современные проблемы конструирования программ / под ред. В.Н. Касьянова. — Новосибирск: ИСИ СО РАН, 2002. — С. 38–68.
3. Газизов Т.Т. Методология, алгоритмы и программное обеспечение для комплексной оптимизации элементов радиоэлектронных устройств: дис. ... д-ра техн. наук: специальность 05.13.18 / Т.Т. Газизов. — Томск, 2017. — 316 с.
4. Кречетов И.А. Алгоритм генерации последовательности образовательных модулей в технологии получения адаптивного образовательного контента / И.А. Кречетов // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Колесникова. — Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2014. — С. 200–206.
5. Новиков, Д.А. Закономерности итеративного научения / Д.А. Новиков. — М.: Институт проблем управления РАН, 1998. — 77 с.
6. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы / Т.В. Панченко; под ред. Ю.Ю. Тарасевича. — Астрахань: АГУ, 2007. — 87 с.
7. Hssina B. A Personalized Pedagogical Objectives Based on a Genetic Algorithm in an Adaptive Learning System / B. Hssina, M. Erritali // Procedia Computer Science. — 2019. — Vol. 151. — P. 1152–1157. — doi: 10.1016/j.procs.2019.04.164.
8. Moodle [Electronic resource]. — URL: <https://moodle.org/>, free access (accessed 05.10.2024).
9. Moodle Coding Guidelines [Electronic resource]. — URL: <https://docs.moodle.org/dev/Coding>, free access (accessed 05.10.2024).

© Тарасов Вячеслав Сергеевич (slavatarasov207@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АРХИТЕКТУРА АДАПТИВНОЙ БЕСПРОВОДНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ И УСТРОЙСТВАМИ

ARCHITECTURE OF ADAPTIVE WIRELESS LOCAL NETWORK FOR CONTROLLING OBJECTS AND DEVICES

**M. Khoroshko
I. Skorikov**

Summary. The use of high-speed multi-hop wireless networks is becoming increasingly relevant as a new wave of different wireless devices are being researched and developed. This is particularly relevant for public safety, surveillance and monitoring applications where streaming multimedia data is constantly being generated and must be made available to users in real time. High-bandwidth communication techniques, such as IEEE 802.11s-based wireless mesh networks, can provide low-cost and easy-to-deploy solutions that are scalable and suitable for these services. However, there is a parallel issue of adapting wireless networks to inconsistent environmental conditions as well as to changing user requirements. Equally important is the challenge of minimizing power consumption while meeting quality constraints during wireless network operation. Particular emphasis must be placed on the fact that these adaptations must be performed at runtime in order for the network to operate efficiently in an ever-changing environment. In view of the noted, the paper deals with the issues related to the study of the peculiarities of designing the architecture of an adaptive wireless local area network for controlling objects and devices. As an object of research the task of controlling technological equipment, objects and devices within the framework of IoT technology realization was considered. Special attention in the article is paid to the equipment of base stations, which are divided into two types, depending on computing capabilities. It also describes the peculiarities of modem design, taking into account the channel for which it will be used. As a result, the architecture of adaptive wireless local area network is presented. Its distinguishing feature is the presence of a new wireless switch that allows reconfiguration of network topologies and frequency ranges, adapting to the changing requirements of indoor traffic. The new architecture requires less infrastructure, reduces power consumption, and reduces network deployment and maintenance costs.

Keywords: wireless network, adaptation, switch, range, Internet of Things, base station, reconfiguration.

Хорошко Максим Болеславович

кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск
clevermaks@yandex.ru

Скориков Иван Олегович

Аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск
i-skorikov@internet.ru

Аннотация. Использование высокоскоростных многоходовых беспроводных сетей становится все более актуальным по мере того, как исследуется и разрабатывается новая волна различных беспроводных устройств. Это особенно актуально для приложений общественной безопасности, промышленности, наблюдения и мониторинга, где постоянно генерируются потоковые мультимедийные данные, которые должны предоставляться пользователям в режиме реального времени. Методы связи с высокой пропускной способностью, такие как беспроводные ячеистые сети на базе стандарта IEEE 802.11s, могут обеспечить недорогие и простые в развертывании решения, масштабируемые и подходящие для этих услуг. Однако, параллельно возникает вопрос адаптации беспроводных сетей к непостоянным условиям окружающей среды, а также к изменяющимся требованиям пользователей. Не менее важной является задача минимизации энергопотребления при одновременном соблюдении ограничений качества во время работы беспроводной сети. Особый акцент необходимо сделать на том, что эти адаптации должны выполняться во время работы, чтобы сеть могла эффективно функционировать в условиях постоянно меняющейся внешней среды. С учетом отмеченного, в статье рассматриваются вопросы, связанные с изучением особенностей проектирования архитектуры адаптивной беспроводной локальной сети для управления объектами и устройствами. В качестве объекта исследования рассматривалась задача управления технологическим оборудованием в рамках реализации технологии IoT. Отдельное внимание в статье уделено оборудованию базовых станций, которые разделяются на два типа, в зависимости от вычислительных возможностей. Также описаны особенности проектирования модема с учетом канала для которого он будет использоваться. В итоге представлена архитектура адаптивной беспроводной локальной сети. Ее отличительной особенностью является наличие нового беспроводного коммутатора, который позволяет реконфигурировать топологии и частотные диапазоны сети, адаптируясь к изменяющимся требованиям трафика внутри помещений. Новая архитектура требует меньше инфраструктуры, позволяет снизить энергопотребление и сократить расходы на развертывание и обслуживание сети.

Ключевые слова: беспроводная сеть, адаптация, коммутатор, диапазон, Интернет вещей, базовая станция, реконфигурация.

В настоящее время беспроводные сети распространяются повсеместно, и с каждым днем их становится все больше. Прогнозируемый рост Интернета вещей (IoT) позволяет реализовать целый ряд приложений и сценариев, таких как интеллектуальные сети, мониторинг окружающей среды, «умный» транспорт, всепроникающее здравоохранение и сельскохозяйственный мониторинг. Особую значимость беспроводные сети приобрели с развитием автономных транспортных средств и промышленных роботов, поскольку важность принятия надежных решений в реальном времени постоянно растет [3].

Однако, существующие реализации архитектур и технических решений локальных беспроводных сетей не всегда оптимальны как с точки зрения используемых протоколов, так и с точки зрения экономической эффективности конкретной технологии. Например, для систем «умный дом», промышленного Интернета вещей существует большое количество вариантов реализаций, которые в определенных условиях перестают выполнять свои функции. Одной из причин является изменение топологии сети, в результате чего отдельные объекты сети перестают быть доступными для сервера и других объектов [1].

В свете вышеизложенного, очевидным является тот факт, что ключевая проблема систем беспроводной связи заключается в их адаптивности. Эти системы должны быть гибкими и приспосабливаться к переменным условиям окружающей среды (например, изменяющееся количество пользователей в соте или колеблющиеся параметры канала из-за отражений или перемещений), а также к динамичным требованиям абонентов (пусковая способность, характер трафика и QoS) [10]. Если система может адаптироваться во время выполнения к условиям окружающей среды, можно добиться значительной экономии вычислительных затрат. Кроме того, от аппаратных архитектур ожидается, что они будут чрезвычайно эффективными и экономичными, поскольку используются в потребительских терминалах, работающих от батарей [1].

Таким образом, сеть должна быть адаптированной к изменению своей топологии, быть способной к восстановлению утраченных связей между объектами сети и к установлению новых связей и маршрутов обмена данными. Важнейшим фактором, определяющим «живучесть» сети, является ее архитектура. Например, сеть с архитектурой «Клиент-Сервер» при отказе сервера перестает существовать [4]. Поэтому для обеспечения работоспособности сети необходимо распределить функции управления сетью между несколькими или всеми объектами сети.

Приведенные факты и высокая научно-практическая значимость рассматриваемой тематики предопределили выбор темы данной статьи.

Различные исследователи работают над решением проблем обеспечения адаптивности в беспроводных сетях, из их числа можно выделить Муравьева К.А., Жалникова В.П., Спиричева И.И., Метёлкина А.В., Ерёмкина М.Ю., Pu Song, Shangkun Xiong, Sen Xu, Jianquan Li.

Над разработкой архитектуры ячеистой сети с несколькими переходами и адаптивным управлением для систем широкополосного фиксированного беспроводного доступа трудятся Вишневецкий В.М., Семёнова О.В., Буй З.Т., Лихтциндер Б.Я., Бакай Ю.О., Овасапян Т.Д., Anelia Mitseva, Efthimia Aivaloglou, Maria Marchitti, Neeli Rashmi Prasad.

Методики адаптивного управления беспроводной сетью с многоагентным обучением с подкреплением разрабатывают Беридзе Д.Л., Джорбенадзе М.Б., Квириквелия Ш.В., Борзов Д.Б., Чернышев А.А., Lawal Bello, Panos Bakalis, Predrag Rapajic, Kwashie A. Anang.

Высоко оценивая работы современных авторов и имеющиеся на сегодняшний день наработки, следует отметить некоторые вопросы, которые требуют особого внимания и более глубокого изучения. Так, существующие методы управления сетями, особенно в контексте LoRaWAN, подчеркивают оптимизацию одной метрики, обычно это коэффициент доставки пакетов или коэффициент ошибок пакетов. Однако для реальных приложений часто требуется баланс нескольких конфликтующих метрик производительности. Кроме того, нерешенной остается проблема нестабильности сети и разделения ресурсов распределенного консенсуса в беспроводных сетях [6].

Таким образом, цель статьи заключается в рассмотрении особенностей проектирования архитектуры адаптивной беспроводной локальной сети для управления объектами и устройствами. В качестве объекта исследования будет рассматриваться задача управления технологическим оборудованием, в рамках реализации технологии IoT.

Итак, в локальных беспроводных сетях широко используется технология Wi-Fi, которая позволяет достаточно простыми средствами создать архитектуру «Клиент-Сервер». Функции Клиента выполняют узлы Wi-Fi сети с конфигурацией Station (рис. 1, а), а функции сервера — узел с конфигурацией Access Point (точка доступа). Обмен информацией между узлами сети осуществляется поверх Wi-Fi протоколов с помощью протоколов MQTT через MQTT сервер (рис. 1, б).

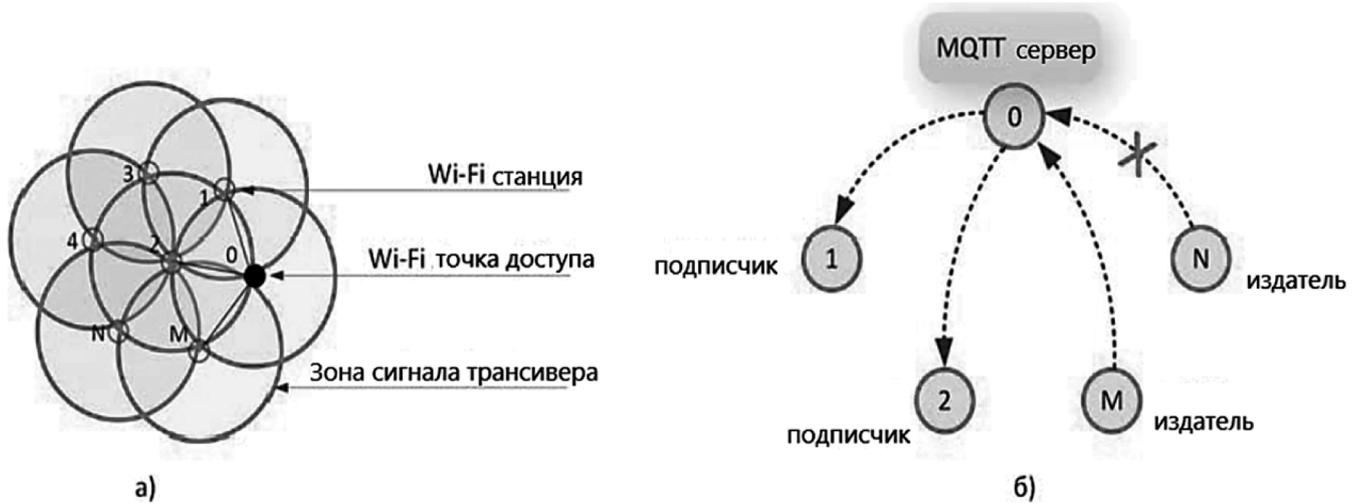


Рис. 1. Архитектура «Клиент-Сервер» с использованием MQTT сервера

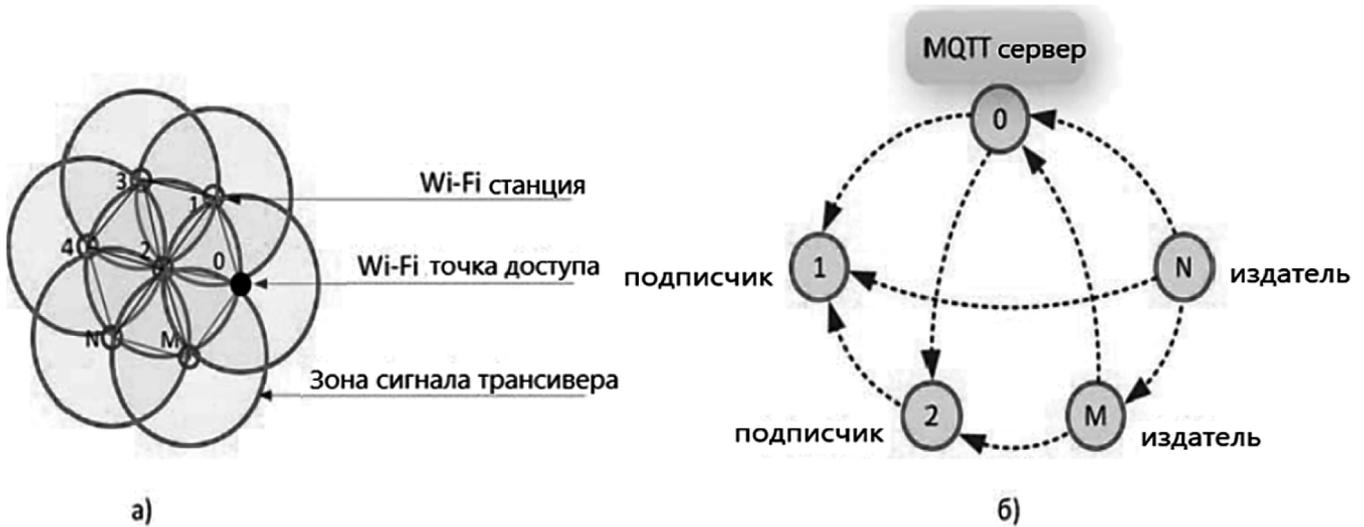


Рис. 2. Mesh-Network с использованием MQTT сервера

Такая архитектура сети имеет два недостатка. Один заключается в том, что при отказе или недоступности MQTT сервера вся сеть становится неработоспособной, а объекты сети — неуправляемыми. Второй недостаток заключается в том, что при изменении положения объекта сети в пространстве, он может потерять связь с точкой доступа и также стать неуправляемым [5].

Указанные недостатки устраняются путем объединения узлов сети в ячеистую сеть (Mesh network) (рис. 2, а)). В этом случае обмен информацией осуществляется не только через MQTT сервер, но и через прямые связи между узлами сети (рис. 2, б)), которые выполняют функции ретрансляторов. При такой организации сети MQTT сервер становится необязательным атрибутом в локальной сетевой системе управления объектами.

В реальных условиях топология сети может включать в себя множество узлов-ретрансляторов и быть неоптимальной с точки зрения управляемости. Динамическое

разбиение сети на кластеры способствует повышению уровня управляемости сети и ее администрирования [2].

Несомненно, при проектировании архитектуры адаптивной беспроводной локальной сети особое значение имеет оборудование базовых станций (BSE). Существует два типа оборудования базовых станций по вычислительным возможностям:

- оборудование базовых станций типа I, которое способно обрабатывать только часть доступной полосы частот, например одну или несколько несущих. В качестве примера можно привести блок обработки множественного доступа с частотным разделением (FDMA);
- оборудование базовой станции типа II, которое способно обрабатывать всю полосу частот и отбрасывает нерелевантные поддиапазоны только после обработки всей полосы (например, блок обработки ортогонального FDMA [OFDMA]) [8].

Таким образом, беспроводные сети в помещениях относятся либо к типу I, либо к типу II в лицензируемой полосе частот, поскольку смешение этих двух типов систем не поддерживается из-за текущей политики лицензирования спектра.

В рамках проводимого исследования в процессе разработки архитектуры адаптивной беспроводной локальной сети для управления объектами и устройствами будет считаться, что каждый запрос трафика соответствует распределенной антенне. Все запросы трафика совместно определяют его распределение в сети. Будем интерпретировать каждую потребность в трафике как конечное число поднесущих FDMA или ортогонального мультиплексирования с частотным разделением (OFDM) в системах типа I или II. В новой архитектуре дискретное число (под)поднесущих преобразуется в непрерывное требование физической полосы пропускания. После выделения подполоса непрерывной полосы пропускания будет преобразована обратно в дискретное число (под)поднесущих.

Например, если антенне требуется 15 FDMA поднесущих и расстоянием между ними 200 кГц, требуемая полоса пропускания составляет 3 МГц. Если антенне выделена подполоса в 2 МГц, то фактически выделяется 10 несущих. Требования к полосе пропускания могут быть оценены в три этапа.

1. На первом этапе необходимо получить данные о требуемой полосе пропускания для каждого BSE с сервера, называемого центром эксплуатации и технического обслуживания.
2. На втором этапе измеряется доля принимаемой мощности на каждой антенне, подключенной к BSE в беспроводном коммутаторе.
3. На последнем этапе с помощью этой пропорции рассчитывается требуемая полоса пропускания антенны.

Итак, предполагаемая сеть будет состоять из базовых станций, подключенных к высокоскоростной магистрали. Каждая базовая станция служит концентратором для всех коммуникаций с различными терминалами внутри ячейки. Для снижения стоимости установки выгодно, чтобы ячейки были достаточно большими. Этого можно добиться, используя ISM-диапазоны 2,4 ГГц или 5,7 ГГц. Кроме того, такой подход позволяет интегрировать радиочастотный фронт-энд в стандартную CMOS или BiCMOS технологию, в отличие от пико-сотовых сетей, которые исследуются в диапазоне 60 ГГц [9]. Поскольку в сети всего несколько базовых станций, на них можно разместить большое количество вычислительных мощностей, таких как обработка пространства-времени и многопользовательское обнаружение.

Для проектирования модема очень важно знать канал, для которого он будет использоваться. Поэтому

канал внутри помещения был смоделирован с помощью метода трассировки лучей [7]. Поскольку предполагаемое применение — это WLAN, структурированная как сеть со звездообразной конфигурацией, состоящая из относительно больших ячеек, в качестве геометрического входа для алгоритма трассировки лучей был взят типичный коридор в офисной среде. На рис. 3 показан географический результат работы реализованного алгоритма, отображающий различные распространяющиеся лучи с учетом многолучевых составляющих до определенного порога потерь мощности (который для рассматриваемого примера составил 30 дБ). Базовая станция расположена в центре коридора, а мобильный терминал — в одной из офисных комнат. Стены показаны сплошными линиями, а все пунктирные линии представляют собой пути распространения.

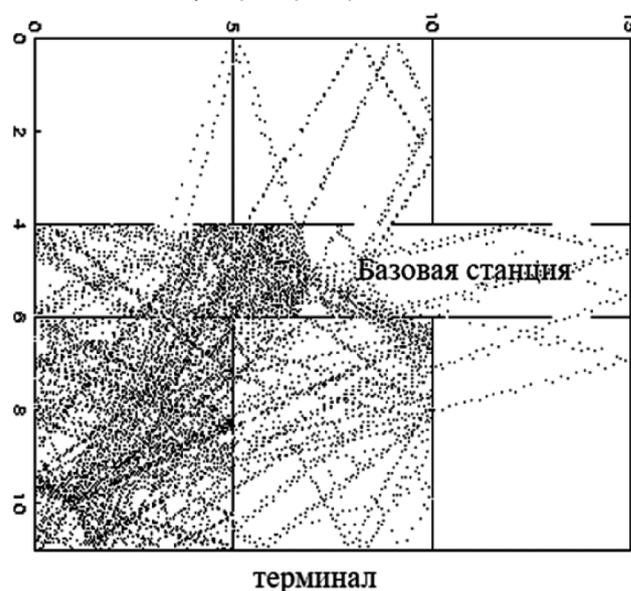


Рис. 3. Типичный результат трассировки лучей

Из приведенной выше картины видно, что в помещении происходит множество отражений, и, следовательно, в приемник поступает большое количество многолучевых компонентов.

На рис. 4 изображена архитектура предлагаемой адаптивной беспроводной локальной сети для управления объектами и устройствами.

В соответствии с представленной на рис. 3 архитектурой, уровень распределения обеспечивает связь с сетевыми службами, глобальной сетью и Интернетом. Сетевые службы могут включать и не ограничиваться службами приложений глобальной сети (WAAS) и контроллерами WLAN. В зависимости от размера локальной сети эти службы, а также соединение с глобальной сетью и Интернетом могут располагаться на коммутаторе уровня распределения, который также агрегирует соединения уровня доступа локальной сети. Такую схему можно

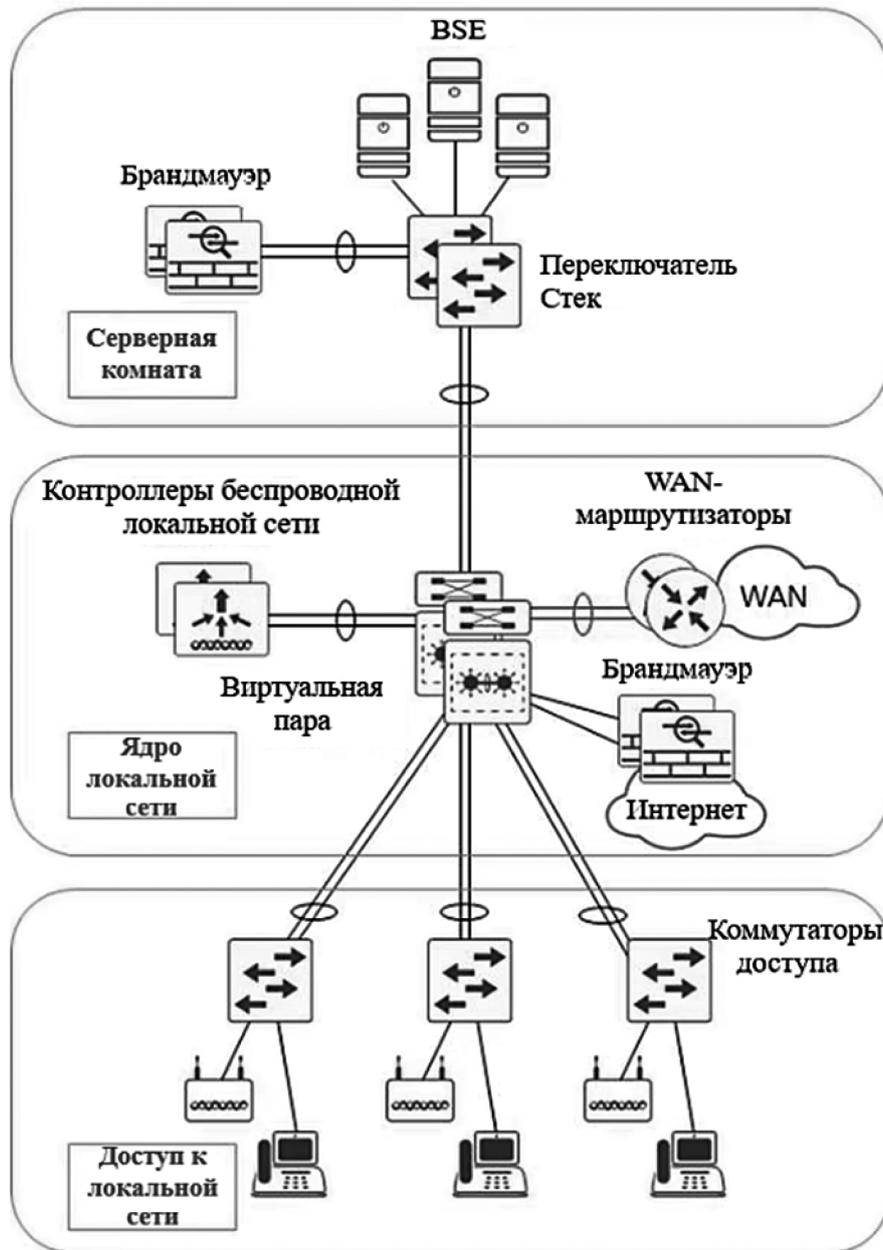


Рис. 4. Архитектура адаптивной беспроводной локальной сети

назвать схемой свернутого ядра, поскольку распределе­ние служит уровнем агрегации для всех устройств.

Особенностью предложенной архитектуры являет­ся то, что в беспроводной коммутатор, а именно в про­цессор алгоритмов, встроен алгоритм коммутации, как показано на рис. 5. Этот алгоритм призван адаптивно определять топологию сети, распределять частоты и устранять помехи.

Рассмотрим, как предложенная архитектура и бес­проводной коммутатор работают на практике.

На рис. 6 показан пример трехэтажной беспровод­ной сети в помещении, где для управления объектами

развернуты шесть антенн и три BSE. Доступная полоса пропускания составляет шесть несущих FDMA, и каждый BSE может обрабатывать четыре несущие.

В левой части рисунка расположена традиционная локальная беспроводная сеть, а в правой реконфигура­ция соединений между BSEs и антеннами в ответ на пе­ремещение пользователей, где реконфигурация про­изошла в беспроводном коммутаторе, что подчеркивает предложенную адаптивную архитектуру. Рассмотрим эту реконфигурацию более подробно.

В сценарий, который продемонстрирован на рис. 5, распределение трафика меняется с равномерного на не-

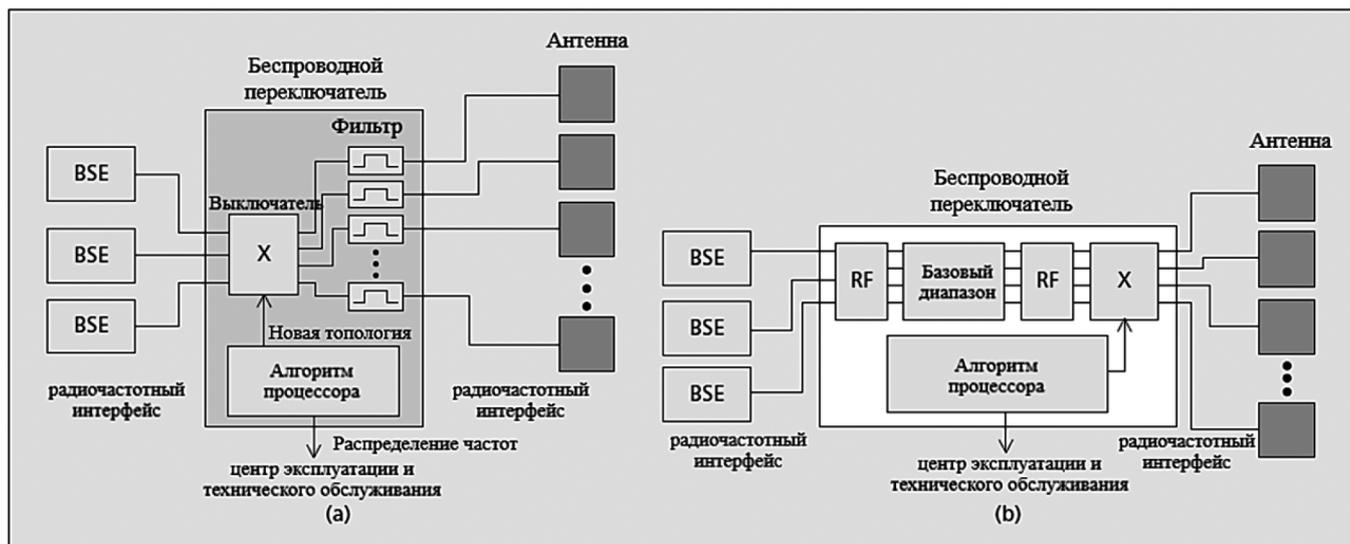


Рис. 5. Предлагаемые структуры нового беспроводного коммутатора:
а) для систем типа I; б) для систем типа II

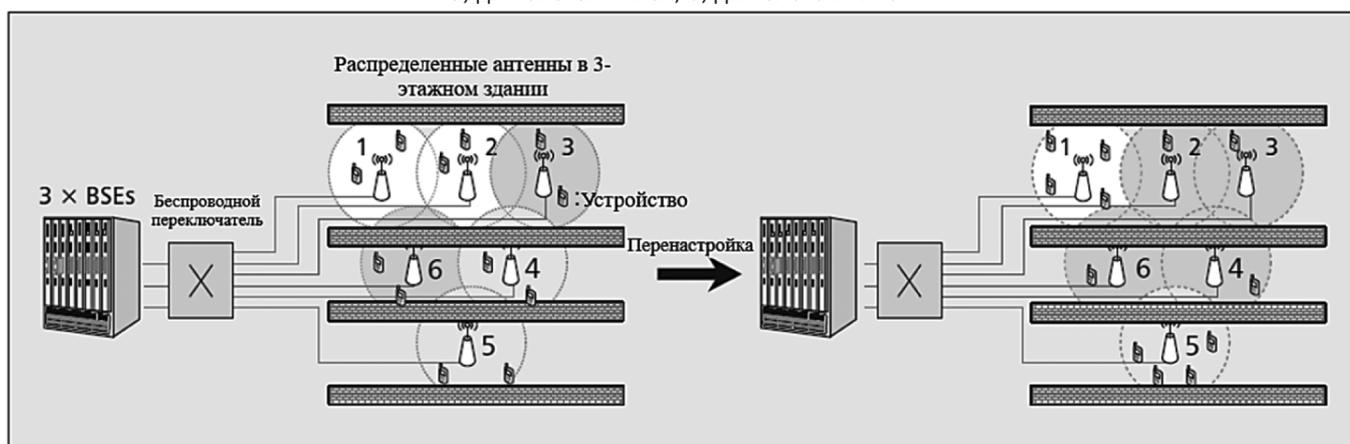


Рис. 6. Архитектура беспроводной локальной сети

сбалансированное. Новые требования к полосе пропускания — четыре несущие для каждой из антенн 1 и 5 и по одной несущей для каждой из антенн 2, 3, 4 и 6. Чтобы удовлетворить новые требования к полосе пропускания, сеть реконфигурируется, используя предложенную адаптивную архитектуру и беспроводной коммутатор. Реконфигурация выполняется в два этапа в процессоре алгоритмов переключателя стека.

На первом этапе распределяется спектр, адаптируясь к требованиям трафика. Поскольку не смежным антеннам разрешено использовать одни и те же несущие, имеем граф совместимости (CG) антенн. В графе две вершины, соединенные ребром, обозначают две антенны, которые могут использовать одни и те же несущие, поскольку имеют непересекающиеся зоны покрытия. Далее определяется наибольшее количество взаимно связанных вершин. Эти вершины представляют собой наибольшее количество антенн, которым разрешено использовать одни и те же несущие. В результате несущие используются наиболее эффективно.

На втором этапе обновляется топология сети, переставляя соединения между BSE и антеннами. Несколько антенн могут подключаться к одному BSE, если им выделены разные несущие.

Подводя итоги, отметим, что адаптивные беспроводные сети могут изменять свою топологию и поддерживать сбор и доставку информации для достижения целей высокого уровня, которые охватывают интересы пользователей. В статье предложена новая архитектура адаптивной беспроводной локальной сети для управления объектами и устройствами. Ее преимущество заключается в том, что для удовлетворения потребностей внутреннего пространства в трафике требуется гораздо меньше BSE по сравнению с существующим уровнем техники. Кроме того, она позволяет снизить энергопотребление за счет уменьшения количества BSE и упрощает модернизацию сетей, делая это, по сути, в режиме реального времени. Еще одно преимущество архитектуры — устойчивость. Это связано с тем, что при выходе из строя од-

ного BSE остальные адаптивно подключают антенну(ы) этого BSE и продолжают предоставлять услуги. В то время как, в существующих сетях при выходе из строя одно-

го BSE происходит полная потеря услуг на территории, покрываемой антенной (антеннами) этого BSE.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабаринов С.Л., Болдышев А.В., Заливин А.Н. Алгоритм адаптивного планирования работы узлов беспроводной сенсорной сети // Информационные системы и технологии. 2023. № 2 (136). С. 75–81.
2. Беридзе Д.Л., Джорбенадзе М.Б., Квириквелия Ш.В. Гибридный адаптивный алгоритм для снижения задержек в беспроводной сети // Научные горизонты. 2019. № 5-2 (21). С. 67–76.
3. Васенин Р.С. Эволюция протоколов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях // Научный аспект. 2024. Т. 27. № 3. С. 3410–3414.
4. Иванов В.Г., Прядкин А.М., Скуридин А.Е., Лукьянчик В.Н. Повышение эффективности функционирования сетей беспроводного широкополосного доступа за счёт внедрения адаптивных систем и оценки каналов связи // Стратегическая стабильность. 2024. № 1 (106). С. 60–62.
5. Савенко К.В. Адаптивная модуляция в беспроводных сетях // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. 2018. № 1-2. С. 298–301.
6. Hajjabadi M. Transient analysis of multitask learning over adaptive networks with wireless links // International Journal of Adaptive Control and Signal Processing. 2023. Volume 38, Issue 1. P. 145–154.
7. Khoshnevisan L., Liu X. Adaptive fractional order predictive sliding mode control for congestion control of wireless access networks // International Journal of Robust and Nonlinear Control. 2022. Volume 32, Issue 13. P. 120–124.
8. Taha M., Ali A. Smart algorithm in wireless networks for video streaming based on adaptive quantization // Concurrency and Computation: Practice and Experience. 2023. Volume 35, Issue 9. P. 87–95.
9. Shiny G. S., Ram R. S. Energy efficient data dissemination in wireless sensor network enabled IoT using domain-adaptive message passing graph neural network // International Journal of Communication Systems. 2024. № 56. P. 19–23.
10. Sakthivel S. Design of efficient location-based multipath self-adaptive balancer router using particle swarm optimization in wireless sensor network // International Journal of Communication Systems. 2022. Volume 35, Issue 4. P. 34–39.

© Хорошко Максим Болеславович (clevermaks@yandex.ru); Скорииков Иван Олегович (i-skorikov@internet.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

MATHEMATICAL MODEL AND RECOGNITION ALGORITHMS FOR IMAGE PROCESSING

V. Chasovskikh
E. Koch

Summary. The article discusses the possibility of increasing the speed of algorithms when processing information technology images, including artificial intelligence technologies. A mathematical model is proposed as a nonlinear tensor product. This model is presented in the form of fast algorithms. It has been proven that various types of fast Fourier transform can be represented in a nonlinear, generalized form and represented by a set of two rules defining nonlinearity for fast algorithms. For image processing algorithms, relationships are formed from several operations of fast algorithms. Three iterations are defined. In the first iteration, the nonlinearity of the transformation is determined. In the second iteration, the nonlinearity of sparse transformations of direct sums of nonlinear transformations is formed. At the third iteration, a fast nonlinearity transformation is formed as a result of combining nonlinear sparse transformations. A new approach to transformations with nonlinear dependencies and the use of a fast algorithm has been created. The applied recursion rules for nonlinear transformation models create new opportunities for regular viewing of implicit fast transformations with nonlinearity. Thus, the authors formulated a new property of transformations, defined as the result of a superposition of «sparse» transformations with nonlinearity, and a new (with fewer computational operations) fast algorithm was created.

Keywords: model, pixels, image, fast algorithms. information Technology.

Часовских Виктор Петрович

Доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО Уральский государственный
экономический университет
u2007u@ya.ru

Кох Елена Викторовна

Кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ
ВО Уральский государственный
экономический университет
elenakox@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается возможность повышения скорости алгоритмов при обработке изображений информационных технологий, включая технологии искусственного интеллекта. Предлагается математическая модель, как нелинейное тензорное произведение. Эта модель представлена в форме быстрых алгоритмов. Было доказано, что различные виды быстрого преобразования Фурье можно представить в нелинейном, обобщенном виде и представлять множеством из двух правил, определяющих нелинейность для быстрых алгоритмов. Для алгоритмов при обработке изображений формируются соотношения из нескольких операций быстрых алгоритмов. Определены три итерации. В первой итерации определяется нелинейность преобразования. Во второй итерации формируется нелинейность разреженных преобразований прямых сумм нелинейных преобразований. На третьей итерации формируется быстрое преобразование нелинейности как результат совмещения нелинейных разреженных преобразований. Создан новый подход к преобразованиям с нелинейными зависимостями и использованием быстрого алгоритма. Применяемые правила рекурсии для моделей нелинейных преобразований создают новые возможности для регулярного просмотра неявных быстрых преобразований с нелинейностью. Таким образом, авторы сформулировали новое свойство преобразований, определяемое как результат суперпозиции «разреженных» преобразований с нелинейностью, и создан новый (с меньшим количеством вычислительных операций) быстрый алгоритм.

Ключевые слова: модель, пиксели, изображение, быстрые алгоритмы. информационные технологии.

В современной практике информационных технологий нелинейный подход стал важным методом обработки транзакций преобразования и распознавания изображений (основная технология искусственного интеллекта). В настоящей практике доминируют алгоритмы компьютерной обработки больших данных средствами информационных технологий для выявления в них каких-либо зависимостей и закономерностей, а также определении частотных компонентов.

Например, при обработке данных видео камер, алгоритмы выявляют их спектральные характеристики и после распознавания изображений, алгоритмами улучшают качество и плотности сжатия.

Целью работы является разработка модели, позволяющей существенно уменьшить количество необходимых операций в алгоритмах обработки изображений, создать так называемые быстрые алгоритмы.

Материалы и методы исследования

При проведении исследования в качестве материалов использовались многоканальные изображения, применяемые в системах дистанционного зондирования Земли при решении различных научных и прикладных задач. Для получения достоверных результатов применялись методы математической статистики и теории вероятностей, метод статистических наблюдений и выбо-

рочных совокупностей, методы гиперкомплексных чисел для обработки изображений и распознавания объектов, присутствующих в этом изображении. Применение традиционных алгоритмов моделирования с помощью нелинейных фильтров определялось общим нелинейным интегралом свертки Вольтерра или G-функцией Винера [1, с. 440; 2, с. 178]. Авторы ориентировались на алгоритмы распознавания и обработки изображений в которых доминируют операции агрегирования [3, с. 386; 4, с. 398; 5, с. 58]. Авторы рассматривают единый подход к быстрым нелинейным преобразованиям (FNLT).

Результаты исследования и их обсуждение

Для построения математических моделей и алгоритмов распознавания и обработки изображений авторы применяют быстрое преобразование Фурье (Fast Fourier transform — FFT), подтвердившее высокую эффективность в подобных приложениях [1, с. 440; 2, с. 178].

Изображение, представляющее собой пиксельное множество, переводится в частотный ряд. Представле-

ние изображения в виде набора частот используется в целях их обработки и фильтрации. Оно позволяет применять различные фильтры, осуществлять устранение шумов, улучшать контраст, выделять границы и отдельные детали.

Такую операцию авторы обращают в пространство пикселей, что существенно упрощает процесс обработки изображений и позволяет выполнять сложные операции с данными (нелинейная обработка), с высокой эффективностью. Однако такое пространство пикселей, как объём исходной информации, влияет на количество необходимых вычислительных операций.

Для нелинейной обработки авторы предлагают две новые формы, основанные на последовательном разложении точечного (пиксельного) FFT. Предложенные формы основаны на том, что они создаются посредством ряда быстрых рекурсивных унитарных преобразований произвольного порядка [2, с. 178; 6, с. 57; 7, с. 70]. Авторы обобщают быстрые линейные преобразования на некоторые нелинейные случаи, определяемые параллель-

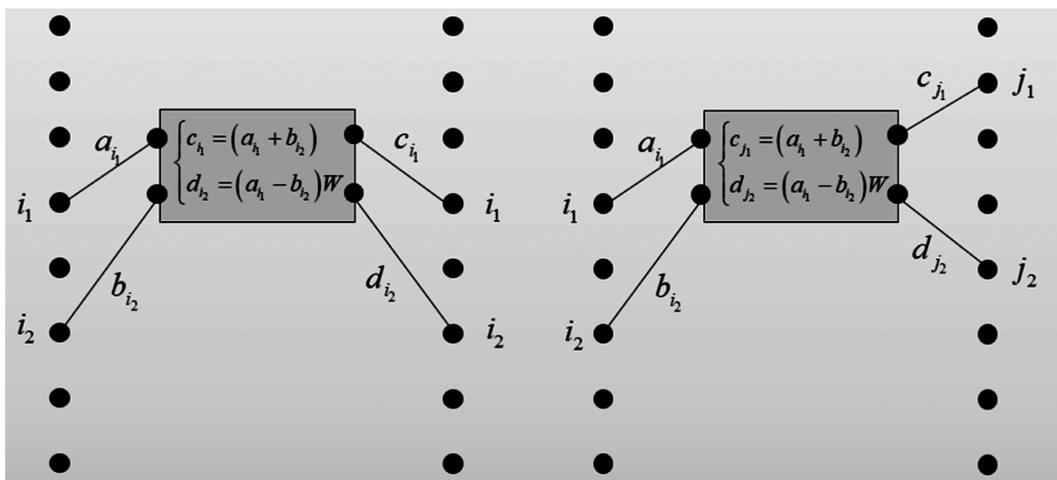


Рис 1. Неместные операции

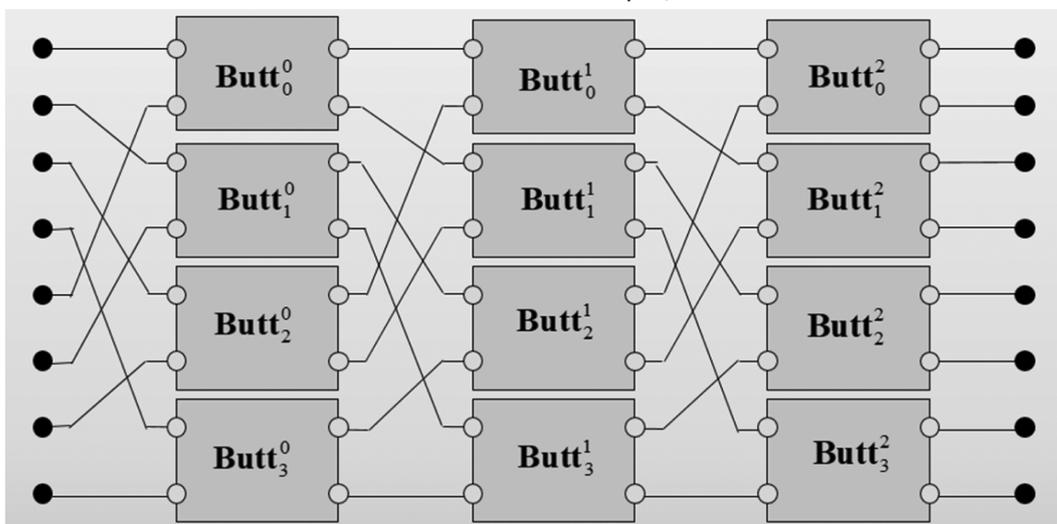


Рис. 2. 8-точечное быстрое преобразование Фурье (с взаимосвязями между бабочками)

ным/последовательным объединением элементарных нелинейных преобразований 2×2 (нелинейные отображения-бабочки) [8, с. 72; 9, с. 91]. Применяя эту структуру, авторы определяют большое семейство FFT и получаем ряд известных и новых результатов об алгоритмах FFT, существующих преобразованиях и определяем структурные свойства между преобразованиями.

Основной элемент-точечного 2^n FFT определяет операции со сложными данными — блок-бабочка (см. рис. 1): $\begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0(x_0, x_1) \\ f_1(x_0, x_1) \end{bmatrix}$. Бабочка имеет 2 входа и 2 выхода. Значения на входах называются a_{i1} и b_{i2} , значения на выходах называются c_{j1} и d_{j2} . Комплексное число W (коэффициент вращения) является весовым коэффициентом и различно для каждой бабочки. Комбинируя операции «бабочка» подходящим образом, создается $2N$ -точечное FFT (см. рис. 2). Предложенный алгоритм FFT-бабочки показывает поток данных и операции с данными в графической форме.

Авторы рассматривают простейшую версию явно обратимого преобразования: оно состоит из замены переменных с участием двух произвольных функций $g_0(\cdot, \cdot), g_1(\cdot, \cdot)$ от двух величин x_1, x_2 до двух величин y_1, y_2 и наоборот: $\begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_0(\cdot_0, \cdot_1) \\ g_1(\cdot_0, \cdot_1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_0(x_0, x_1) \\ g_1(x_0, x_1) \end{bmatrix}$. Если $g_0(\cdot_0, \cdot_1) = g_{00}(\cdot_0) + g_{01}(\cdot_1), g_1(\cdot_0, \cdot_1) = g_{10}(\cdot_0) - g_{11}(\cdot_1)$ то

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{00}(\cdot_0) + g_{01}(\cdot_1) \\ g_{10}(\cdot_0) - g_{11}(\cdot_1) \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{00}(x_0) + g_{01}(x_1) \\ g_{10}(x_0) - g_{11}(x_1) \end{bmatrix}$$

Очевидно, что как прямое, так и обратное преобразование $BT_2(h, f)$ включают только две произвольные функции f, h , а не их обратные.

Для применения нелинейного тензорного произведения суперпозиции определяются два элементарных нелинейных (2×2) -преобразования, называемых нелинейными преобразованиями-бабочками: $BT_1 : V_2 \rightarrow V_2, BT_2 : V_2 \rightarrow V_2$. Каждое из них описывается двумя произвольными функциями $BT_1^1[g_0^1, g_1^1], BT_2^2[g_0^2, g_1^2]$. Обозначим их матрично:

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \end{bmatrix} = BT_1^1[g_0^1, g_1^1] \circ \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^1(\cdot_0, \cdot_1) \\ 1 \leftarrow g_1^1(\cdot_0, \cdot_1) \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^1(x_0, x_1) \\ 1 \leftarrow g_1^1(x_0, x_1) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \end{bmatrix} = BT_2^2[g_0^2, g_1^2] \circ \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^2(\cdot_0, \cdot_1) \\ 1 \leftarrow g_1^2(\cdot_0, \cdot_1) \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^2(x_0, x_1) \\ 1 \leftarrow g_1^2(x_0, x_1) \end{bmatrix}$$

Иногда авторы будут использовать веса $w_{00}^1 = -w_{11}^1 = \cos\theta^1, w_{01}^1 = w_{10}^1 = \sin\theta^1;$ и $w_{00}^2 = -w_{11}^2 = \cos\theta^2, w_{01}^2 = w_{10}^2 = \sin\theta^2,$ $w_{01}^2 = w_{10}^2 = \sin\theta^2,$

для переменных x_0, x_1 и «амплитуды» $a_0^1 = e^{i\varphi_0^1}, a_1^1 = e^{i\varphi_1^1}, a_0^2 = e^{i\varphi_0^2}, a_1^2 = e^{i\varphi_1^2}$ для нелинейных функций:

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \leftarrow a_0^k \cdot g_0^k(w_{00}^k(\cdot_0), w_{01}^k(\cdot_1)) \\ 1 \leftarrow a_1^k \cdot g_1^k(w_{10}^k(\cdot_0), w_{11}^k(\cdot_1)) \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \leftarrow a_0^k \cdot g_0^k(w_{00}^k \cdot x_0, w_{01}^k \cdot x_1) \\ 1 \leftarrow a_1^k \cdot g_1^k(w_{10}^k \cdot x_0, w_{11}^k \cdot x_1) \end{bmatrix}$$

где $k = 1, 2$. В данном случае $BT_2^1[\varphi_0^1, \varphi_1^1, \theta^1; g_0^1, g_1^1]$ и $BT_2^2[\varphi_0^2, \varphi_1^2, \theta^2; g_0^2, g_1^2]$ зависят от 3 скалярных параметров, $\theta = (\varphi_0, \varphi_1, \theta) \in [0, 2\pi]^3$ и двух нелинейных функций $g = (g_0, g_1)$.

Определение 1. Тензорное произведение двух нелинейных (2×2) -преобразований $BT_2^1[g_0^1, g_1^1]$ и $BT_2^2[g_0^2, g_1^2]$ является нелинейным (4×4) -преобразованием, которое определяется как

$$\begin{aligned} & BT_2^1[g_0^1, g_1^1] \otimes BT_2^2[g_0^2, g_1^2] = \\ & = \begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^1(\cdot_0, \cdot_1) \\ 1 \leftarrow g_1^1(\cdot_0, \cdot_1) \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^2(\cdot_0, \cdot_1) \\ 1 \leftarrow g_1^2(\cdot_0, \cdot_1) \end{bmatrix} = \\ & = \begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^1 \left(\begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^2(\cdot_0, \cdot_1) \\ 1 \leftarrow g_1^2(\cdot_0, \cdot_1) \end{bmatrix}_0, \begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^2(\cdot_0, \cdot_1) \\ 1 \leftarrow g_1^2(\cdot_0, \cdot_1) \end{bmatrix}_1 \right) \\ 1 \leftarrow g_1^1 \left(\begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^2(\cdot_0, \cdot_1) \\ 1 \leftarrow g_1^2(\cdot_0, \cdot_1) \end{bmatrix}_0, \begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^2(\cdot_0, \cdot_1) \\ 1 \leftarrow g_1^2(\cdot_0, \cdot_1) \end{bmatrix}_1 \right) \end{bmatrix} = \\ & = \begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^1 \left(\begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^2(\cdot_{00}, \cdot_{01}) \\ 1 \leftarrow g_1^2(\cdot_{00}, \cdot_{01}) \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^2(\cdot_{10}, \cdot_{11}) \\ 1 \leftarrow g_1^2(\cdot_{10}, \cdot_{11}) \end{bmatrix} \right) \\ 1 \leftarrow g_1^1 \left(\begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^2(\cdot_{00}, \cdot_{01}) \\ 1 \leftarrow g_1^2(\cdot_{00}, \cdot_{01}) \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \leftarrow g_0^2(\cdot_{10}, \cdot_{11}) \\ 1 \leftarrow g_1^2(\cdot_{10}, \cdot_{11}) \end{bmatrix} \right) \end{bmatrix} = \\ & = \begin{bmatrix} 00 \leftarrow g_0^1(g_0^2(\cdot_{00}, \cdot_{01}), g_0^2(\cdot_{10}, \cdot_{11})) \\ 01 \leftarrow g_0^1(g_1^2(\cdot_{00}, \cdot_{01}), g_1^2(\cdot_{10}, \cdot_{11})) \\ 10 \leftarrow g_1^1(g_0^2(\cdot_{00}, \cdot_{01}), g_0^2(\cdot_{10}, \cdot_{11})) \\ 11 \leftarrow g_1^1(g_1^2(\cdot_{00}, \cdot_{01}), g_1^2(\cdot_{10}, \cdot_{11})) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
 & g_i^1 \left(\left[\begin{array}{c} g_0^2(\cdot_0, \cdot_1) \\ g_1^2(\cdot_0, \cdot_1) \end{array} \right]_0, \left[\begin{array}{c} g_0^2(\cdot_{10}, \cdot_{11}) \\ g_1^2(\cdot_{10}, \cdot_{11}) \end{array} \right]_1 \right) = \\
 & = g_i^1 \left(\left[\begin{array}{c} g_0^2(\cdot_{00}, \cdot_{01}) \\ g_1^2(\cdot_{00}, \cdot_{01}) \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} g_0^2(\cdot_{10}, \cdot_{11}) \\ g_1^2(\cdot_{10}, \cdot_{11}) \end{array} \right] \right) = \\
 & = \left[\begin{array}{c} g_i^1(g_0^2(\cdot_{00}, \cdot_{01}), g_0^2(\cdot_{10}, \cdot_{11})) \\ g_i^1(g_1^2(\cdot_{00}, \cdot_{01}), g_1^2(\cdot_{10}, \cdot_{11})) \end{array} \right] = \\
 & = \left[\begin{array}{c} g_i^1(g_0^2, g_0^2) \\ g_i^1(g_1^2, g_1^2) \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} g_i^1 \bar{\bullet} g_0^2 \\ g_i^1 \bar{\bullet} g_1^2 \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

— правило композиции адресов входных данных и

$$\begin{aligned}
 & \frac{\left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow g_0^1 \left(\left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow g_0^2 \\ 1 \leftarrow g_1^2 \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow g_0^2 \\ 1 \leftarrow g_1^2 \end{array} \right] \right) \\ 1 \leftarrow g_1^1 \left(\left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow g_0^2 \\ 1 \leftarrow g_1^2 \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow g_0^2 \\ 1 \leftarrow g_1^2 \end{array} \right] \right) \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{c} 00 \leftarrow g_0^1(g_0^2, g_0^2) \\ 01 \leftarrow g_0^1(g_1^2, g_1^2) \\ 10 \leftarrow g_1^1(g_0^2, g_0^2) \\ 11 \leftarrow g_1^1(g_1^2, g_1^2) \end{array} \right]} = \frac{\left[\begin{array}{c} 00 \leftarrow g_0^1 \bar{\bullet} g_0^2 \\ 01 \leftarrow g_0^1 \bar{\bullet} g_1^2 \\ 10 \leftarrow g_1^1 \bar{\bullet} g_0^2 \\ 11 \leftarrow g_1^1 \bar{\bullet} g_1^2 \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{c} 00 \leftarrow g_0^1(g_0^2, g_0^2) \\ 01 \leftarrow g_0^1(g_1^2, g_1^2) \\ 10 \leftarrow g_1^1(g_0^2, g_0^2) \\ 11 \leftarrow g_1^1(g_1^2, g_1^2) \end{array} \right]}
 \end{aligned}$$

— правило составления адресов выходных данных.

Здесь по определению

$$\begin{aligned}
 & g_0^1 \bar{\bullet} g_0^2 = g_0^1(g_0^2, g_0^2), \\
 & g_0^1 \bar{\bullet} g_1^2 = g_0^1(g_1^2, g_1^2), \quad g_1^1 \bar{\bullet} g_0^2 = g_1^1(g_0^2, g_0^2), \\
 & g_1^1 \bar{\bullet} g_1^2 := g_1^1(g_1^2, g_1^2)
 \end{aligned}$$

и $\bar{\bullet}$ является символом левой суперпозиции нелинейных функций. Так,

$$\begin{aligned}
 & \text{BT}_2^1[g_0^1, g_1^1] \bar{\otimes} \text{BT}_2^2[g_0^2, g_1^2] = \text{BT}_4[(g_0^1, g_1^1) \bar{\bullet} (g_0^2, g_1^2)] = \\
 & = \text{BT}_4[g_0^1 \bar{\bullet} g_0^2, g_0^1 \bar{\bullet} g_1^2, g_1^1 \bar{\bullet} g_0^2, g_1^1 \bar{\bullet} g_1^2], \\
 & \text{BT}_2^2[g_0^2, g_1^2] \bar{\otimes} \text{BT}_2^1[g_0^1, g_1^1] = \text{BT}_4[(g_0^2, g_1^2) \bar{\bullet} (g_0^1, g_1^1)] = \\
 & = \text{BT}_4[g_0^2 \bar{\bullet} g_0^1, g_0^2 \bar{\bullet} g_1^1, g_1^2 \bar{\bullet} g_0^1, g_1^2 \bar{\bullet} g_1^1].
 \end{aligned}$$

Определение 2. Тензорное произведение двух нелинейных преобразований $\text{BT}_{N_1}^1[g_0^1, g_1^1, \dots, g_{N_1-1}^1]$ и $\text{BT}_{N_2}^2[g_0^2, g_1^2, \dots, g_{N_2-1}^2]$ является нелинейным $(N_1 \times N_2)$ -преобразованием, которое определяется как

$$\begin{aligned}
 & \text{BT}_{N_1}^1[g_0^1, g_1^1, \dots, g_{N_1-1}^1] \bar{\otimes} \text{BT}_{N_2}^2[g_0^2, g_1^2, \dots, g_{N_2-1}^2] = \\
 & = \text{BT}_{N_1 N_2}[(g_0^1, g_1^1, \dots, g_{N_1-1}^1) \bar{\bullet} (g_0^2, g_1^2, \dots, g_{N_2-1}^2)] = \\
 & = \text{BT}_{N_1 N_2}[\{g_i^1 \bar{\bullet} g_j^2\}_{i=0, j=0}^{N_1-1, N_2-1}],
 \end{aligned}$$

где $g_i^1 \bar{\bullet} g_j^2 = g_i^1(\cdot_0, \dots, \cdot_{N_1-1}) \bar{\bullet} g_j^2 := g_i^1(g_j^2, g_j^2, \dots, g_j^2)$.

Определение 3. Определим n -кратное тензорное произведение n нелинейных преобразований $\{\text{BT}_{N_p}^p[g_0^p, g_1^p, \dots, g_{N_p-1}^p]\}_{p=1}^n$ как следующее нелинейное $(N \times N)$ -преобразование

$$\begin{aligned}
 & \text{BT}_{N_1}^1[g_0^1, g_1^1, \dots, g_{N_1-1}^1] \bar{\otimes} \dots \bar{\otimes} \text{BT}_{N_n}^n[g_0^n, g_1^n, \dots, g_{N_n-1}^n] = \\
 & = \text{BT}_{N_1 N_2 \dots N_n}[\{g_i^1 \bar{\bullet} g_{i_2}^2 \bar{\bullet} \dots \bar{\bullet} g_{i_n}^n\}_{i=0, i_2=0, \dots, i_n=0}^{N_1-1, N_2-1, \dots, N_n-1}],
 \end{aligned}$$

где $N = N_1 N_2 \dots N_n$.

Пример 1. Пусть $\text{BT}_2^1[g_0^1, g_1^1]$ — тождественное преобразование

$$\begin{aligned}
 & \text{BT}_2^1[g_0^1, g_1^1] \equiv I_{2 \times 2} = \\
 & = \left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow g_0^1(\cdot_0, \cdot_1) \\ 1 \leftarrow g_1^1(\cdot_0, \cdot_1) \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow \text{Add}_0(1(\cdot_0), 0(\cdot_1)) \\ 1 \leftarrow \text{Add}_1(0(\cdot_0), 1(\cdot_1)) \end{array} \right],
 \end{aligned}$$

затем

$$\begin{aligned}
 & I_{2 \times 2} \bar{\otimes} \text{BT}_2^2[g_0^2, g_1^2] = \\
 & = \left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow \text{Add}_0(1(\cdot_0), 0(\cdot_1)) \\ 1 \leftarrow \text{Add}_1(0(\cdot_0), 1(\cdot_1)) \end{array} \right] \bar{\otimes} \left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow g_0^2(\cdot_0, \cdot_1) \\ 1 \leftarrow g_1^2(\cdot_0, \cdot_1) \end{array} \right] = \\
 & = \left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow \text{Add}_0 \left(1 \cdot \left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow g_0^2(\cdot_0, \cdot_1) \\ 1 \leftarrow g_1^2(\cdot_0, \cdot_1) \end{array} \right]_0, 0 \cdot \left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow g_0^2(\cdot_0, \cdot_1) \\ 1 \leftarrow g_1^2(\cdot_0, \cdot_1) \end{array} \right]_1 \right) \\ 1 \leftarrow \text{Add}_1 \left(0 \cdot \left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow g_0^2(\cdot_0, \cdot_1) \\ 1 \leftarrow g_1^2(\cdot_0, \cdot_1) \end{array} \right]_0, 1 \cdot \left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow g_0^2(\cdot_0, \cdot_1) \\ 1 \leftarrow g_1^2(\cdot_0, \cdot_1) \end{array} \right]_1 \right) \end{array} \right] = \\
 & = \left[\begin{array}{c} 00 \leftarrow g_0^2(\cdot_{00}, \cdot_{01}) \\ 01 \leftarrow g_1^2(\cdot_{00}, \cdot_{01}) \\ 10 \leftarrow g_0^2(\cdot_{10}, \cdot_{11}) \\ 11 \leftarrow g_1^2(\cdot_{10}, \cdot_{11}) \end{array} \right].
 \end{aligned}$$

Если $\text{BT}_2^2[g_0^2, g_1^2]$ — идентичное преобразование, то

$$\begin{aligned}
 & \text{BT}_2^1[g_0^1, g_1^1] \bar{\otimes} I_{2 \times 2} = \\
 & = \left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow g_0^1(\cdot_0, \cdot_1) \\ 1 \leftarrow g_1^1(\cdot_0, \cdot_1) \end{array} \right] \bar{\otimes} \left[\begin{array}{c} 0 \leftarrow \text{Add}_0(1(\cdot_0), 0(\cdot_1)) \\ 1 \leftarrow \text{Add}_1(0(\cdot_0), 1(\cdot_1)) \end{array} \right] = \\
 & = \left[\begin{array}{c} 00 \leftarrow g_0^1(\text{Add}_0(1(\cdot_{00}), 0(\cdot_{01})), \text{Add}_0(1(\cdot_{10}), 0(\cdot_{11}))) \\ 01 \leftarrow g_0^1(\text{Add}_1(0(\cdot_{00}), 1(\cdot_{01})), \text{Add}_1(0(\cdot_{10}), 1(\cdot_{11}))) \\ 10 \leftarrow g_1^1(\text{Add}_0(1(\cdot_{00}), 0(\cdot_{01})), \text{Add}_0(1(\cdot_{10}), 0(\cdot_{11}))) \\ 11 \leftarrow g_1^1(\text{Add}_1(0(\cdot_{00}), 1(\cdot_{01})), \text{Add}_1(0(\cdot_{10}), 1(\cdot_{11}))) \end{array} \right] = \\
 & = \left[\begin{array}{c} 00 \leftarrow g_0^1(\cdot_{00}, \cdot_{10}) \\ 01 \leftarrow g_0^1(\cdot_{01}, \cdot_{11}) \\ 10 \leftarrow g_1^1(\cdot_{00}, \cdot_{10}) \\ 11 \leftarrow g_1^1(\cdot_{01}, \cdot_{11}) \end{array} \right].
 \end{aligned}$$

Это легко проверить

$$\begin{aligned} & (\mathbf{BT}_2^1[g_0^1, g_1^1] \tilde{\otimes} \mathbf{I}_{2 \times 2}) \circ (\mathbf{I}_{2 \times 2} \tilde{\otimes} \mathbf{BT}_2^2[g_0^2, g_1^2]) = \\ & = \mathbf{BT}_2^1[g_0^1, g_1^1] \tilde{\otimes} \mathbf{BT}_2^2[g_0^2, g_1^2], \end{aligned}$$

где $\mathbf{BT}_2^1[g_0^1, g_1^1] \tilde{\otimes} \mathbf{I}_{2 \times 2}$ и $\mathbf{I}_{2 \times 2} \tilde{\otimes} \mathbf{BT}_2^2[g_0^2, g_1^2]$ — нелинейное разреженное $\mathbf{I}_{2 \times 2} \tilde{\otimes} \mathbf{BT}_2^2[g_0^2, g_1^2]$ нелинейное преобразование по основанию 2 (**SNLT**).

Теорема 1. Каждое n -кратное тензорное произведение n нелинейных преобразований $\left\{ \mathbf{BT}_{N_p}^p[g_0^p, g_1^p, \dots, g_{N_p-1}^p] \right\}_{p=1}^n$ является \circ -произведением разреженных нелинейных преобразований **SNLT**

$$\begin{aligned} & {}^1\mathbf{FNLT}_{N_1 N_2 \dots N_n} \left[\left\{ g_{i_1}^1 \bar{\bullet} g_{i_2}^2 \bar{\bullet} \dots \bar{\bullet} g_{i_n}^n \right\}_{i_1=0, i_2=0, \dots, i_n=0}^{N_1-1, N_2-1, \dots, N_n-1} \right] = \\ & = \mathbf{BT}_{N_1}^1[g_0^1, g_1^1, \dots, g_{N_1-1}^1] \tilde{\otimes} \dots \tilde{\otimes} \mathbf{BT}_{N_n}^n[g_0^n, g_1^n, \dots, g_{N_n-1}^n] = \\ & = \prod_{r=1}^{n-1} \circ (\mathbf{I}_{\bar{N}_r \times \bar{N}_r} \tilde{\otimes} \mathbf{BT}_{N_r}^r[g_0^r, \dots, g_{N_r-1}^r] \tilde{\otimes} \mathbf{I}_{(\bar{N}_n/\bar{N}_r) \times (\bar{N}_n/\bar{N}_r)}) = \\ & = \prod_{r=1}^{n-1} \circ \mathbf{SNLT}_{N_r}^r[g_0^r, \dots, g_{N_r-1}^r] = \\ & = \mathbf{SNLT}_{N_n}^n[g_0^n, \dots, g_{N_n-1}^n] \circ \dots \circ \mathbf{SNLT}_{N_2}^2[g_0^2, \dots, g_{N_2-1}^2] \circ \\ & \quad \circ \mathbf{SNLT}_{N_1}^1[g_0^1, \dots, g_{N_1-1}^1], \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} & \mathbf{SNLT}_{N_r}^r[g_0^r, g_1^r, \dots, g_{N_r-1}^r] = \\ & = \mathbf{I}_{\bar{N}_r \times \bar{N}_r} \tilde{\otimes} \mathbf{BT}_{N_r}^r[g_0^r, g_1^r, \dots, g_{N_r-1}^r] \tilde{\otimes} \mathbf{I}_{(\bar{N}_n/\bar{N}_r) \times (\bar{N}_n/\bar{N}_r)} \end{aligned}$$

это **FNLT**, где $\bar{N}_0 = 1, \bar{N}_{r-1} = N_1 N_2 \dots N_{r-1}, r = 1, 2, \dots, n$ и $\mathbf{I}_{1 \times 1} \equiv 1$. В частности,

$$\begin{aligned} & {}^1\mathbf{FNLT}_{2^n} \left[\left\{ g_{i_1}^1 \bar{\bullet} g_{i_2}^2 \bar{\bullet} \dots \bar{\bullet} g_{i_n}^n \right\}_{i_1=0, i_2=0, \dots, i_n=0}^{i_1=1, i_2=1, \dots, i_n=1} \right] = \\ & = \mathbf{BT}_2^1[g_0^1, g_1^1] \tilde{\otimes} \mathbf{BT}_2^2[g_0^2, g_1^2] \tilde{\otimes} \dots \tilde{\otimes} \mathbf{BT}_2^n[g_0^n, g_1^n] = \\ & = \prod_{r=1}^{n-1} \circ (\mathbf{I}_{2^{r-1} \times 2^{r-1}} \tilde{\otimes} \mathbf{BT}_2^r[g_0^r, g_1^r] \tilde{\otimes} \mathbf{I}_{2^{n-r} \times 2^{n-r}}) = \\ & = \prod_{r=1}^{n-1} \circ \mathbf{SNLT}_2^r[g_0^r, g_1^r] = \\ & = \prod_{r=1}^{n-1} \circ (\mathbf{I}_{2^{r-1} \times 2^{r-1}} \tilde{\otimes} \mathbf{BT}_2^r[g_0^r, g_1^r] \tilde{\otimes} \mathbf{I}_{2^{n-r} \times 2^{n-r}}) = \\ & = \prod_{r=1}^{n-1} \circ \mathbf{SNLT}_2^r[g_0^r, g_1^r] = \\ & = \mathbf{SNLT}_2^n[g_0^n, g_1^n] \circ \mathbf{SNLT}_2^2[g_0^2, g_1^2] \circ \dots \circ \mathbf{SNLT}_2^1[g_0^1, g_1^1] \end{aligned}$$

— это **FNLT** по основанию-2. Авторы определяют операцию «стержень» для **NLT** получения преобразования «нелинейного транспонирования».

$$\begin{aligned} & \overline{\mathbf{NLT}}_{N_1 N_2 \dots N_n} \left[\left\{ g_{i_1}^1 \bar{\bullet} g_{i_2}^2 \bar{\bullet} \dots \bar{\bullet} g_{i_n}^n \right\}_{i_1=0, i_2=0, \dots, i_n=0}^{N_1-1, N_2-1, \dots, N_n-1} \right] = \\ & = \mathbf{SNLT}_{N_r}^1[g_0^1, g_1^1, \dots, g_{N_1-1}^1] \circ \mathbf{SNLT}_{N_2}^2[g_0^2, g_1^2, \dots, g_{N_2-1}^2] \circ \dots \\ & \quad \circ \mathbf{SNLT}_{N_n}^n[g_0^n, g_1^n, \dots, g_{N_n-1}^n] = \\ & = \prod_{r=1}^{1 \rightarrow n} \circ \mathbf{SNLT}_{N_r}^r[g_0^r, g_1^r, \dots, g_{N_r-1}^r]. \end{aligned}$$

Пусть $V_N = \text{Span}\{e_0, e_1, \dots, e_{N-1}\}$ — N пространство-D, натянутое на базисе $\{e_0, e_1, \dots, e_{N-1}\}$. Авторы предполагают, что $N = 2^n$. Авторы делят пространство V^N на $M = 2^{n-1}$ двумерные пространства.

$$V_N = V_2^0\{e_{i_0}, e_{i_1}\} \oplus V_2^1\{e_{i_0}, e_{i_1}\} \oplus \dots \oplus V_2^{M-1}\{e_{i_0^{M-1}}, e_{i_1^{M-1}}\}.$$

Далее введем следующие базисные (2×2) преобразования:

$$\begin{aligned} & \mathbf{BT}_2 = [j_0, j_1 | \mathbf{BT}_2 | i_0, i_1] = \\ & = [j_0, j_1 | g_0, g_1 | i_0, i_1] : V_2\{e_{i_0}, e_{i_1}\} \rightarrow V_2\{e_{j_0}, e_{j_1}\}, \end{aligned}$$

действуя как

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} y_{j_0} \\ y_{j_1} \end{bmatrix} &= \mathbf{BT}_2 \circ \begin{bmatrix} x_{i_0} \\ x_{i_1} \end{bmatrix} = [j_0, j_1 | g_0, g_1 | i_0, i_1] \circ \begin{bmatrix} x_{i_0} \\ x_{i_1} \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} j_0 \leftarrow g(x_{i_0}, x_{i_1}) \\ j_1 \leftarrow g(x_{i_0}, x_{i_1}) \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Семейство $\mathcal{F} = \left\{ [j_0^p, j_1^p | g_0^p, g_1^p | i_0^p, i_1^p] \right\}_{p=0}^S$ произвольных $S = M - 1 = 2^{n-1} - 1$ базисных преобразований генерируется в V_N некотором нелинейном **SNLT**.

$$\begin{aligned} \mathbf{SNLT}_{2^n} &= \begin{bmatrix} [j_0^0, j_1^0 | g_0^0, g_1^0 | i_0^0, i_1^0] \\ \hline [j_0^1, j_1^1 | g_0^1, g_1^1 | i_0^1, i_1^1] \\ \hline \vdots \\ \hline [j_0^S, j_1^S | g_0^S, g_1^S | i_0^S, i_1^S] \end{bmatrix} = \\ &= \bigoplus_{p=0}^S \mathbf{BT}_2^p = \bigoplus_{p=0}^S [j_0^p, j_1^p | g_0^p, g_1^p | i_0^p, i_1^p]. \end{aligned}$$

Каждое разреженное преобразование содержит S базисные преобразования. Позволять

$$\begin{aligned} \mathbf{BT}_{2^n} &:= [j_0^p, j_1^p | \mathbf{BT}_{2^n} | i_0^p, i_1^p] := \mathbf{I}_{2^p} \oplus \mathbf{BT}_2 \oplus \mathbf{I}_{2^{n-2(p+1)}} = \\ &= \mathbf{I}_{2^p} \oplus [j_0^p, j_1^p | \mathbf{BT}_2 | i_0^p, i_1^p] \oplus \mathbf{I}_{2^{n-2(p+1)}} = \\ &= \mathbf{I}_{2^p} \oplus [j_0^p, j_1^p | g_0^p, g_1^p | i_0^p, i_1^p] \oplus \mathbf{I}_{2^{n-2(p+1)}}. \end{aligned}$$

Тогда разреженные матрицы можно представить как \circ -произведение суперпозиции.

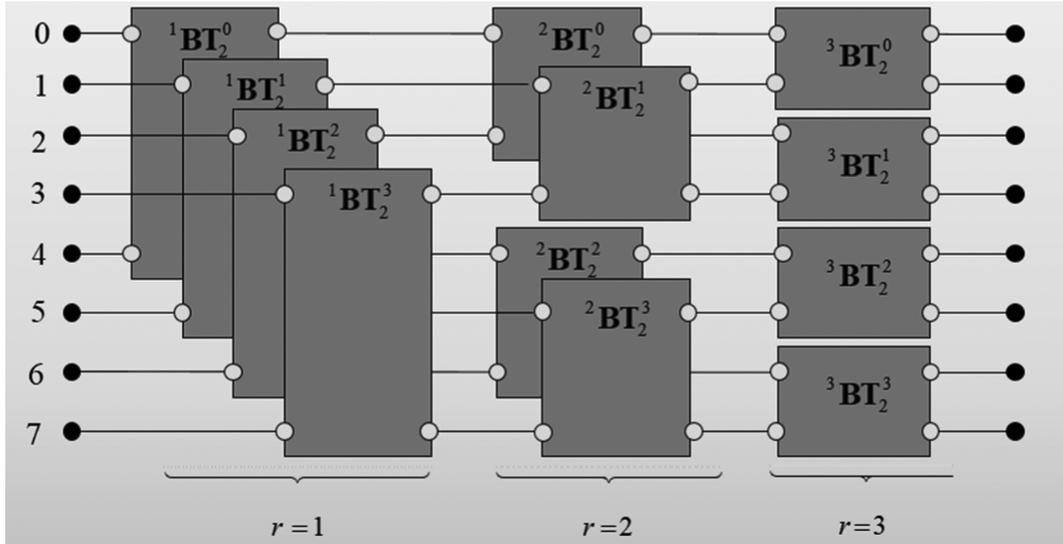


Рис. 3. Радикс-2

$$\begin{aligned}
 \text{SNLT}_{2^n} &= \prod_{p=0}^S \circ \text{BT}_{2^n}^p = \\
 &= \prod_{p=0}^S \left(\text{I}_{2^p} \oplus \left[j_0^p, j_1^p \mid \text{BT}_2^p \mid i_0^p, i_1^p \right] \oplus \text{I}_{2^{n-2(p+1)}} \right) = \\
 &= \prod_{p=0}^S \left(\text{I}_{2^p} \oplus \left[j_0^p, j_1^p \mid g_0^p, g_1^p \mid i_0^p, i_1^p \right] \oplus \text{I}_{2^{n-2(p+1)}} \right).
 \end{aligned}$$

Две последовательности $\left\{ \begin{matrix} i_0^0, i_1^0; i_1^1, i_1^1; \dots; i_0^S, i_1^S \\ j_0^0, j_1^0; j_0^1, j_1^1; \dots; j_0^S, j_1^S \end{matrix} \right\}$ образуют две схемы адресации базисных преобразований $\{\text{BT}_2^p\}_{p=0}^S$ для так называемого быстрого **NLT по основанию 2 без места**.

Определение 4. Пусть

$$\left\{ \left\{ {}^r \text{BT}_2^p = \left[{}^r j_0^p, {}^r j_1^p \mid {}^r g_0^p, {}^r g_1^p \mid {}^r i_0^p, {}^r i_1^p \right] \right\}_{p=0}^S \right\}_{r=1}^L$$

— множество L семейств произвольных базисных преобразований. Определим обобщенное тензорное произведение этих семейств в виде суперпозиции \circ -произведения разреженных нелинейных преобразований:

$$\begin{aligned}
 {}^L \text{FNLT}_{2^n} &= \prod_{r=1}^L \prod_{p=0}^S \circ {}^r \text{BT}_{2^n}^p = \prod_{r=1}^L \circ {}^r \text{SNLT}_{2^n} = \\
 &= \prod_{r=1}^L \prod_{p=0}^S \left(\text{I}_{2^p} \oplus \left[{}^r j_0^p, {}^r j_1^p \mid {}^r \text{BT}_2^p \mid {}^r i_0^p, {}^r i_1^p \right] \oplus \text{I}_{2^{n-2(p+1)}} \right).
 \end{aligned}$$

Это называется быстрыми нелинейными преобразованиями по основанию-2, L которые ($L = \log_2 N = n$ обычно используются для линейных унитарных преобразований). В деталях это быстрое преобразование имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 {}^L \text{FNLT} &= \prod_{r=1}^{L-1} \circ {}^r \text{SNLT} = \\
 &= {}^L \text{SNLT}_{2^n} \circ \dots \circ {}^2 \text{SNLT}_{2^n} \circ {}^1 \text{SNLT}_{2^n} = \\
 &= \begin{matrix} \begin{matrix} {}^L \text{BT}_2^0 \\ {}^L \text{BT}_2^1 \\ \vdots \\ {}^L \text{BT}_2^S \end{matrix} & \circ \dots \circ & \begin{matrix} {}^2 \text{BT}_2^0 \\ {}^2 \text{BT}_2^1 \\ \vdots \\ {}^2 \text{BT}_2^S \end{matrix} & \circ & \begin{matrix} {}^1 \text{BT}_2^0 \\ {}^1 \text{BT}_2^1 \\ \vdots \\ {}^1 \text{BT}_2^S \end{matrix} \\
 &= \prod_{r=1}^{L-1} \circ \begin{matrix} \left[{}^r j_0^p, {}^r j_1^p \mid {}^r g_0^p, {}^r g_1^p \mid {}^r i_0^p, {}^r i_1^p \right] \\ \left[{}^r j_0^p, {}^r j_1^p \mid {}^r g_0^p, {}^r g_1^p \mid {}^r i_0^p, {}^r i_1^p \right] \\ \vdots \\ \left[{}^r j_0^p, {}^r j_1^p \mid {}^r g_0^p, {}^r g_1^p \mid {}^r i_0^p, {}^r i_1^p \right] \end{matrix}.
 \end{aligned}$$

При линейной цифровой обработке сигналов используются следующие схемы адресации [4, с. 400; 5, с. 79; 6, с. 60; 7, с. 81; 8, с. 72]

$$\begin{cases} {}^r j_0^p = {}^r i_0^p = p_r, & \begin{cases} {}^r j_0^p = 2p, & {}^r i_0^p = p_r, \\ {}^r j_1^p = {}^r i_1^p = p_r + 2^{r-1}, & {}^r j_1^p = 2p + 1 & {}^r i_1^p = p_r + 2^{r-1}, \end{cases} \\ \begin{cases} {}^r j_0^p = p_r, & {}^r i_0^p = 2p, \\ {}^r j_1^p = p_r + 2^{r-1} & {}^r i_1^p = 2p + 1. \end{cases} \end{cases}$$

где $p_r = 2^r \lfloor p / 2^{r-1} \rfloor + (p \bmod 2^{r-1})$. Для этих схем авторы предлагают следующую классическую архитектуру для быстрых нелинейных преобразований:

$$\begin{aligned}
 (1) \text{FNLT}_{2^n} &= \\
 &= \prod_{r=1}^n \prod_{p=0}^S \left(\text{I}_{2^p} \oplus \left[p_r, p_r + 2^{r-1} \mid {}^r \text{BT}_2^p \mid p_r, p_r + 2^{r-1} \right] \oplus \text{I}_{2^{n-2(p+1)}} \right), \\
 (2) \text{FNLT}_{2^n} &= \\
 &= \prod_{r=1}^n \prod_{p=0}^S \left(\text{I}_{2^p} \oplus \left[{}^r \text{BT}_2^p \mid p_r, p_r + 2^{r-1} \right] \oplus \text{I}_{2^{n-2(p+1)}} \right),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 {}^{(3)}\text{FNLT}_{2^n} &= \\
 &= \prod_{r=1}^n \prod_{p=0}^s \left(I_{2^p} \oplus \left[p_r, p_r + 2^{r-1} \middle| {}^r\text{BT}_2^p \right] \oplus I_{2^{n-2(p+1)}} \right), \\
 \text{где } \prod_{r=1}^n &= \prod_{r=1}^{n-1} \text{ или } \prod_{r=1}^n = \prod_{r=1}^{1 \rightarrow n}. \text{ На рисунке 3 показан поток} \\
 &\text{данных для системы счисления-2.} {}^{(1)}\text{FNLT}_8.
 \end{aligned}$$

Широкое семейство обратимых базисных преобразований $\left[j_0^p, j_1^p \middle| \text{BT}_2^p \middle| i_0^p, i_1^p \right]$ можно найти в [2, с. 178]. Используя их, BT_2^p авторы получают обратимые быстрые нелинейные преобразования FNLT_{2^n} .

Заключение

Создан новый подход к преобразованиям с нелинейными зависимостями и использованием быстрого алгоритма. Применяемые правила рекурсии для моделей нелинейных преобразований создают новые воз-

можности для регулярного просмотра неявных быстрых преобразований с нелинейностью. Таким образом, авторы сформулировали новое свойство преобразований, определяемое как результат суперпозиции «разреженных» преобразований с нелинейностью, и создать новый (с меньшим количеством вычислительных операций) быстрый алгоритм NLWT. Авторы считают, что предложенные преобразования с нелинейностью, используемые для обработки в пространстве пикселей существенно упрощает процесс распознавания и обработки изображений, позволяет выполнять сложные операции с данными (нелинейная обработка), с высокой эффективностью.

Предлагаемая модель может применяться в компьютерных сетях, в технологиях искусственного интеллекта и как следствие повышает эффективность как проводной, так и беспроводной связи по которым передаются видеопотоки данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лабунец В.Г. Интеллектуальная технология OFDM, основанная на быстрых многопараметрических преобразованиях. — Екатеринбург: Издательство ИП Пиджаков А.В., 2023. 440 с.
2. Лабунец В.Г., Часовских В.П. Является ли мозг классическим компьютером, работающим в алгебре Клиффорда? Математические основы теории. — Екатеринбург: Издательство ООО «Акдениз», 2022. 178 с.
3. Лабунец В. Остеймер Э. Системный подход к нелинейной фильтрации, связанной с операторами агрегации. Часть 1. SISO-фильтры // Procedia Engineering. 2017. № 201. С.385–397.
4. Лабунец В. Остеймер Э. Системный подход к нелинейной фильтрации, связанной с операторами агрегации. Часть 2. MIMO-фильтры Фреше // Procedia Engineering. 2017. № 201. С.397–411.
5. Остеймер Э., Лабунец В., Комаров Д., Федорова Т. Фильтры Фреше для фильтрации цветных и гиперспектральных изображений // Коммуникации в компьютерных и информационных науках. 2015. № 542. С.57–70.
6. Остхаймер Э., Лабунец В., Мясников Ф. Семейства цифровых фильтров Герона для фильтрации изображений // Материалы семинара CEU. 2015. № 1452. С.56–63.
7. Лабунец В.Г. Гиперкомплексные модели многоканальных изображений // Труды института математики и механики УрО РАН. 2020. Т. 26. № 3. С.69–83.
8. Евдокимова А.Е., Зобова Л.Л. «Эффект бабочки» и возможность прогнозов в экономике // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 7-3. С.72–73
9. Лабунец В.Г., Кох Е.В., Остхаймер Е. Алгебраические модели и методы компьютерной обработки изображений. Часть 1. Мультиплетные модели многоканальных изображений // Компьютерная оптика. 2018. Т. 42. № 1. С.84–95.

© Часовских Виктор Петрович (u2007u@ya.ru); Кох Елена Викторовна (elenakox@mail.ru)
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АЗИМУТАЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИОННАЯ СФЕРА

AZIMUTHAL IDENTIFICATION SPHERE

A. Chochaev
T. Tolgurov

Summary. The article describes a special form of information representation within the boundaries of artificial intelligence. The authors reduce common forms of information organization to various variants of its matrix representation — from two-dimensional tables to multidimensional matrices — and note that in this form all of it is interpreted as a set of discrete unambiguous values — firstly. Secondly, the identification of any object in the environment of modern information representations complicates the typological recognition of the object by the machine, due to the need for a full cycle of attribution of such, even with an insignificant change in its parameters. The authors believe that the azimuthal identification sphere (AIS) is a universal architecture of information organization, which can be more functional than the existing forms of data «packaging». The article argues that AIS avoids the discreteness and unambiguity of information inherent in matrix methods of its representation and is effective not only in acts of object recognition, but is also effective in the processes of training AI systems and their classification activities in extensive thesauri.

Keywords: artificial intelligence, perception, attribution, information content, identification, cultural environment, azimuth, information module, archetype, matrix.

Чочаев Алим Хусеевич

д.э.н., профессор, Государственный научный центр
«Почвенный институт им. В.В. Докучаева»
doctoragro@mail.ru

Толгуров Тахир Зейтунович

д. филол. наук,
Кабардино-Балкарский научный центр РАН
kangaur64@yandex.ru

Аннотация. В статье даётся описание особой формы представления информации в границах искусственного интеллекта. Авторы сводят общераспространённые формы организации информации к различным вариантам её матричного представления — от двумерных таблиц до многомерных матриц — и отмечают, что в этом виде вся она интерпретируется в качестве совокупности дискретных однозначных величин — во-первых. Во-вторых, идентификация любого объекта в среде современных информационных представлений усложняет типологическое опознание объекта машиной, ввиду необходимости полного цикла атрибуции такового, даже при несущественном изменении его параметров. Авторы считают азимутальную идентификационную сферу (АИС) универсальной архитектурой организации информации, которая может быть более функциональна, нежели существующие формы «упаковки» данных. В статье утверждается, что АИС избегает дискретности и однозначности информации, свойственной матричным способам её представления и действенна не только в актах опознавания объектов, но также эффективна в процессах обучения систем ИИ и их классификационной деятельности в обширных тезаурусах.

Ключевые слова: искусственный интеллект, восприятие, атрибуция, информационное наполнение, идентификация, культурная среда, азимут, информационный модуль, архетип, матрица.

Введение

Попытки атрибуции различных форм искусственного интеллекта особенно активизировались в последние 30 лет, хотя уже в трудах основоположников информатики в современном ее понимании понятие искусственного интеллекта присутствовало [1]. Не отвлекаясь на типологические признаки искусственного интеллекта, такие, как «слабый» искусственный интеллект, «сильный» искусственный интеллект, считаем необходимым констатировать — сама формулировка «интеллект» некорректна. Научный поиск в данной сфере, де-факто — исследователи стремятся воссоздать некую модель восприятия, анализа и принятия решений неким механизмом при помощи внешних относительно этого механизма воздействий.

Мы имеем дело не только и не столько с препятствиями, связанными со сложностью проблемы, сколько с неверным пониманием сути объекта постижения. Логический подход к нему в границах современного знания невозможен. Нет способов создать то, природа чего со-

вершенно не ясна для нас. Первичной задачей при создании искусственного интеллекта является определение — что собой представляет не только искусственный, но и естественный интеллект, и уже на этом этапе мы сталкиваемся со значительными трудностями. История атрибуции интеллекта в гуманитарных и естественных науках имеет весьма глубокие корни, однако надо понимать, что древнегреческая философия рассматривала дрейф готовых информационных элементов во Вселенной, не задумываясь об их способности интерпретироваться в сознании человека. То же самое можно сказать о научной мысли средних веков. Впервые некое подобие, точнее, осознание возможности мыслительных процессов наблюдается в трудах Фомы Аквинского.

Его известное выражение «Интеллект же может познать собственное соображение с умпостигаемой вещью; но он не постигает его, когда он познает о чем-то «то, что оно есть» [2] явно предполагает деление процесса осознания объекта на два типологически различных феномена. Первое — познание чего-то, «как оно есть», и второе — постижение собственного «соображения» по-

стигаемой вещи. Здесь речь, бесспорно, идет о двух разных явлениях: восприятие информации внешнего мира и обработка этой информации в сознании человека, то есть, собственно говоря, сам интеллектуальный процесс.

К понятию «Искусственный интеллект»

Реакция актанта на внешние раздражения остается для нас белым пятном, мы не знаем, какова природа этой реакции: является ли она результатом сознательного целенаправленного усилия чувствующего субъекта, или это плод естественных физических реакции, которые возможно разбить на мелкие этапы и свести к эффектам, объясняемым законами неживой природы. Между тем, это базовый вопрос в теории искусственного интеллекта, коротко формулирующийся следующим образом: можем ли мы создавать что-либо, не понимая сути принципов и функционирования создаваемого? Мысль вполне очевидная и декларируемая рядом исследователей, считающих данную проблему: «...вопросом выбора корректных критериев отнесения того или иного исследования к области Общего искусственного интеллекта» [3].

В своей упрощенной форме проблема видится безусловно однозначной: что именно мы можем оценить как интеллектуальные действия? Мы не знаем ответа и на этот элементарный вопрос. Даже наиболее иллюстративные примеры дают место для фатальных разночтений. Например, широко известны наблюдения поведения амебы в растворе поваренной соли. Общепринято, что она реагирует на присутствие кристалла соли в воде и удаляется от этого кристалла на максимально возможное расстояние. Очевидно, что существует два способа трактовки процесса: первый — амеба принимает осознанное решение (!), второй вариант — речь идет о воздействии осмотического давления ионов соли, имеющего векторную направленность.

В действительности мы не можем разделить два состояния амебы: ее вынужденное движение в результате обычных химических и физических процессов, и ее целенаправленное движение по какой-то другой причине, природу которой придется признать непознаваемой и, в конце концов, обратиться к мысли о богодухновенности наблюдаемого. Ведь, в конечном итоге, прекращение движения в результате равномерного насыщения всего объема капли ионами соли невозможно отделить от осознанного прекращения движения.

Современная наука не только не знает, каковы механизмы осуществления процессов мышления, но и не предполагает границы между осознанным целенаправленным действием и движением, инициированным в пределах неорганического мира. В этой системе координат, понятное дело, не может быть никакого разговора об искусственном интеллекте, невозможно создать то,

что еще не идентифицировано в качестве более-менее понятного и осознанного объекта или процесса [3].

Алгоритм систем воспроизведения интеллекта

Отсутствие четких критериев идентификации объекта исследования, а тем более, объекта воссоздания, автоматически приводит к серьезным методологическим промахам и неверной оценке сути исследуемого вопроса. Все усилия в области искусственного интеллекта направлены на формирование умения мыслить. Человечество стремится обучить машину самостоятельному принятию решений, при этом сам характер математического абстрактно-понятийного подхода приводит к тому, что в идентификации и осознании окружающего бесспорный приоритет отдаётся однозначным атрибутам и определениям [4]. Это проявляется даже в специфических трактовках процесса обучения нейросетей, когда положительным результатом объявляется фиксация определённого набора внешних данных, проходящая в результате целевой адаптации нейросети к неопознанному ранее объекту [5]. Иначе говоря, каждый бит информации, вложенный в память машины, имеет свое точное рациональное значение — только таким он может оказаться в этой самой памяти. Вся информация, попадающая в анализаторы компьютера, либо заложена туда непосредственно человеком, либо воспринята им (компьютером) в соответствии с жёсткими и однозначными наборами команд, предписывающими осуществление любой операции в заранее оговорённом направлении. Или, как утверждал Дж. Р. Сёрль: «...ни один компьютер как таковой не имеет ничего такого, чего нет у человека» [6]. С точки зрения философского понимания ситуации с попытками создания искусственного интеллекта — при экстраполяции её на вышеприведённый эксперимент с амёбой — современная наука занята попытками подсчёта количества ударов ионов соли во внешнюю мембрану одноклеточного с целью формализации реакции, природа которой, ввиду полной неопределённости, может быть возведена к чему угодно — вплоть до божественного промысла.

Результат — попытки обучения мышлению вытеснены в общественном и научном сознании формированием баз данных — всё более и более объёмных, но никоим образом не приближающих нас к многомерности и вариативности человеческого мышления. Человечество совершенствуется в создании всё более и более мощных калькуляторов. Трактовка отражённого объекта в полной совокупности его параметров остается недостижимой для машины. Это было замечено полвека назад [7], и остаётся актуальным по сию пору.

Точечное представление о поворотных пунктах траектории умственного поиска обусловлено, кроме всего прочего, дискретным характером представления ин-

формации, когда актуальному состоянию X рассматриваемой системы соответствуют дискретные и однозначные её параметры по различным направлениям описания. Этот подход прослеживается во всех предлагаемых базовых методах функционирования ИИ — от различных модификаций поиска на графах вида «И/ИЛИ» [8], в способах интерпретации акта апперцепции и суждения в границах перцептрона, дискретность которых (апперцепции и суждения) явно следует из характера сигнала на выходе: «...выход нейрона принимает значение +1, если сигнал на выходе сумматора положителен, и -1, если отрицателен» [9] и в операциях в системе кубитов, дающих, быть может, правдоподобную вероятностную картину в границах самого анализа ситуации, но, в конечном итоге, представляющих на выходе такой же однозначный выбор одного из гипотезируемых состояний [10].

Закономерно, в существующих версиях искусственного интеллекта смысловое наполнение понятийных номинативов подразумевается лишь на уровне их связей с подобными же понятийными номинативами внешнего информационного пространства. Следствием этого становится отсутствие (игнорирование) автономной (внутренней) информации об активном в текущий момент представлении об объекте; его идентификация производится каждый раз с «нуля» — в границах его связей с другими объектами, интерпретируемых на абстрактно-понятийном же уровне, т.е. — в координатах предикативности и атрибутивности.

В программировании не подвергается сомнению тотальная взаимосвязь названий объектов естественно-языкового происхождения с сопредельными, близкими и удалёнными аналогами — во-первых. Во-вторых, в попытках имитировать процесс мышления (идентификации и выяснения взаимодействий между осознаваемыми объектами), предполагается, что основа гносеологического акта — атрибутация объекта в его отношении к другому объекту и выяснение характера их отношения (предикативность). Однако это в корне неверно.

Азимутальная идентификационная сфера

Атрибутивность и предикативность — явления языковые, существующие в диахронии коммутации. Смоделировав ситуацию, в которой нет места контактам между двумя интеллектами, мы понимаем, что и атрибутивная часть, и предикативная составляющая имеют значение и смысл лишь в рамках сигнальной системы, никак не будучи задействованными, непосредственно, в апперцептивном акте. Грубо говоря, атрибутивность, предикативность, любые прочие форманты диахронического режима операций с информацией, к самому акту освоения и обработки информации отношения не имеют.

Иначе — представление любого процесса/атрибута/объекта (далее — ПАО) формируется информацией двух типов. Информация, предназначенная для идентификации, вне связи с другими ПАО — с одной стороны, и информация коммутационная, предназначенная для описания ПАО в процессе коммуникации, обуславливаемая внешней информационной средой, точнее, культурой и традицией интерпретации ПАО.

Словесное обозначение ПАО имеет своё, автономное, безусловное, изолированное — как угодно — информационное наполнение, и мы предлагаем структурировать его в виде уникальной, специфической для данного ПАО, архитектуры. В трёхмерной системе координат она представляет собой точечное ядро — словесное обозначение ПАО — оснащённое лучевидными отростками-носителями аутентичной информации. Каждый луч обладает своим уникальным направлением (телесным углом) и информационным объёмом, выражаемым его протяжённостью — количественным идентификационным азимутом.

Любой ПАО может быть представлен таким образом в виде последовательности $S\varphi Z$, где S — сама последовательность (очерёдность) восприятия азимутов (лучей), φ — телесный угол азимута, а Z — его длина. Ещё одним дополнительным (и, практически, неограниченным) маркером качества ПАО может стать нумерация сторон правильного многоугольника, вписанного в окружность (исчисление числа π методом Лю Хуэя), представляющую из себя проекцию телесного угла на поверхность сферы, образуемой идентификационными азимутами на оговорённом удалении от ядра-номинатива. Понятно — количество подобных хорд может быть сколь угодно большим — ограничений в этом нет, по крайней мере — до выяснения конечного значения π .

Так как субъективно восприятие и идентификация ПАО производится реципиентом одновременно, направление луча-отростка в пространстве, в котором точечное ядро-словесное обозначение играет роль пункта отсчёта, устанавливаются конвенционально — так же, как и его очерёдность. Единственным требованием является единообразие ордера очерёдности и направления.

Z — длина азимута — определяется параметрами связанной с данным азимутом информации о ПАО. Например (наиболее очевидные случаи): длина температурного азимута зависит от числовых показателей температуры, длина пространственных азимутов — от промеров объекта, длина цветового азимута — от частоты и длины соответствующего луча света, азимут запаха — концентрацией молекул того или иного вещества и т.д.

Каждый азимут φZ принадлежит к определённому сектору трёхмерной системы координат с центром-точечным ядром идентифицируемого слова и ответственным за информацию того или иного типа — колористическую, тактильную, осязательную, обонятельную, линейно-пространственную и пр.

Таким образом, сфера-глобула идентификации ПАО представляет собой уникальную в каждом конкретном случае архитектуру, достаточную для уверенного опознания ПАО и сопоставления с ПАО определённого словесного (абстрактно-понятийного) обозначения.

Свойства азимутальной идентификационной сферы

Суммарная идентификационная информация каждой ПАО существует автономно, во временной синхронии.

Гипотетический искусственный интеллект МОЖЕТ уподоблять схожие архитектуры ПАО, идентифицируя незнакомые ПАО в качестве родственных таким ПАО, архитектура которых уже известна ему. Архитектурное сходство сфер $S\varphi Z$ будет служить достаточным основанием для автоматического внесения в базу данных искусственного интеллекта новых ПАО. Внешним в этом процессе будет лишь окончательная номинация ПАО в границах одного из естественных языков — собственно, так же ребёнку даётся название незнакомой ранее вещи.

Подобная структура (=архитектура) информационного представления — АИС (азимутальная идентификационная сфера) — обладает потенциалом, достаточным для реализации идентификационных и презентативных задач системами имитации интеллекта. В мысленном эксперименте при анализе возможностей АИС был рассмотрен набор произвольных объектов, взятых из текста «Евгения Онегина». Первоначально предполагалось привлечь сто первых объектов произведения, затем их число было снижено до первого меньшего чётного — до 98. Нечётность числа первой разбивки, в конце концов, не понадобилась, но набор в дальнейшем не изменялся. Была проведена разбивка реестра объектов по восьми группам параметров — секторов предполагаемой азимутальной идентификационной сферы с задачей охвата максимально возможного ряда каналов поступающей в мозг информации. Поэтапная разбивка по секторам идентификационной сферы дала следующие результаты:

Визуальная внецветовая атрибуция: бал, берег, бог, больной, взор, герой, дама, денди, дитя, друг, дядя, земля, золото, лекарство, мадам, мазурка, месье, ночь, огонь, отец, педант, письмо, повеса, подушка, почтовые, приятель, пыль, ребёнок, сад, свет, слеза, степь, судья, улыбка, француз, чёрт.

Акустическая атрибуция: бал, берег, дама, денди, дитя, мадам, мазурка, огонь, судья, почтовые, ребёнок, француз.

Обонятельная атрибуция: бал, больной, земля, лекарство, огонь, подушка, пыль, сад.

Тактильная атрибуция: земля, золото, огонь, подушка, пыль, слеза.

Вкусовая атрибуция: земля, лекарство, пыль, слеза.

Температурная атрибуция: ночь, огонь, свет.

Цветовая атрибуция: золото, ночь, огонь, свет.

Колебательная (барическая) атрибуция: бал, берег, мазурка, огонь.

Как можно заметить, даже примитивное проецирование на объекты «Онегина» типов параметров даёт нам возможность, по крайней мере, с определённой степенью вероятности опознать некоторые из них. В частности, «огонь» встречается в семи типологических секторах — во всех, исключая сектор вкусовой атрибуции.

Уходя же от прямой механической экстраполяции по секторам параметров, мы можем прибегнуть к идентификации по порядку обработки потоков информации — алгоритму идентификации. Поиск количества подобных последовательностей приводит нас к 8! — 40320 вариантам. И это лишь на первом (низшем) иерархическом этапе опознания.

Вторая стадия идентификации, отличающаяся от обчисленной выше лишь подключением основной колористической гаммы без всяких комбинаторных схем, даёт нам показатель 15!, что в числовом исчислении составляет $1,3076744 \cdot 10^{12}$ (sik!) возможных алгоритмов идентификации. Понятно, в смысле потенциала охвата всех существующих, мыслимых, виртуальных и даже невозможных объектов ресурс АИС, практически, неисчерпаем. Она способна описать любой объект Универсума в его уникальности.

Азимутальная идентификационная сфера также может быть легко интегрирована в ассоциативную культурную матрицу, реализуясь в качестве обширного фрейма и допуская интеграцию с любыми объектными наборами и средами. Сама её представляемая форма располагает к актуализации связей по имеющимся азимутам и установлению каналов поступления дополнительной информации к центральному описываемому элементу — рациональному понятию.

Проблема автоматизации процесса самообучения искусственного интеллекта, вероятно, также имеет ре-

шение, связанное со сферическими архитектурами SφZ. В сущности, уподобление схожих архитектур ПАО уже есть процесс самообучения. Однако в связи с архитектурами SφZ возможно вести речь об имитации гносеологических процессов в их классическом виде — выделении и идентификации ПАО, непосредственно, из внешней среды.

Первичное обучение естественного интеллекта начинается с освоения базовых законов реального мира. Ребёнок, ещё на стадии эмбрионального развития, получает первые представления об упругости материи, о сопротивлении, о температуре, о гравитации, познавая, таким образом, важнейшие законы его будущей среды обитания в чувственной форме. К какому-то определённому периоду — нельзя сказать точно, но, очевидно — на самой заре своей жизни — он уже вполне уверенно ориентируется, например, в законе гравитации, законе сохранения импульса, о чём говорит страх даже грудных младенцев перед высотой, перспективой падения. Истинность любых интеллектуальных построений, точнее, вероятность их прогностической точности, человек устанавливает путём постоянной (циклической) сверки гипотезируемых сценариев развития ситуации с имеющимся у него базовым знанием о физических законах реального мира. В составе подобных превентивно формируемых сценариев такую же циклическую сверку получают представления ПАО — по соответствию базовым законам реальности и совместимости азимутов в составе архитектур SφZ. Например, возможности сочетания колористического азимута и азимута перемещения в реальном объекте исключены, т.е. «зелёно шагал» — отбрасываемое сочетание, невозможное для создания нового ПАО.

Последний шаг — перебор поступающих из внешней среды (частный, и, вероятно, самый обычный в ближай-

шей перспективе случай — печатный текст) компонентов ПАО в режиме циклической сверки с базой первичных знаний (в случае искусственного интеллекта — базой основных физических законов) и построение архитектур SφZ, подобных уже имеющимся в памяти машины, с последующим присвоением полученной структуре имени, также выделенного из внешней среды.

Кроме всего прочего, архитектура SφZ с лёгкостью вписывается в информационную структуру наиболее высокого уровня — в ярусную ассоциативную матрицу, структуру, реализованную в контексте традиционных культурных формант.

Заключение

Специфика естественной рефлексии — в комплексном восприятии объектов, в ходе которого информация, поступающая в мозг реципиента, обрабатывается одновременно, в пределах одного гносеологического акта. Вычленение из данного акта любой типологической информационной компоненты переводит его в разряд научного, либо аффектного, либо физиологического — любого другого специализированного познавательного движения разума. Информационная матрица текста представляет собой систему взаимноинтегрированных модулей — сообщений, воспринимаемых реципиентом, как цельные образы в полной совокупности всех семантических составляющих, заданных в данном тексте и находящихся вне его пределов, в общем культурно-информационном пространстве. В системах имитации интеллекта подобные модули могут быть представлены азимутальными идентификационными сферами (АИС) в той степени подобия и информационной близости, которая позволит говорить о функциональной адекватности АИС и указанных информационных модулей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тьюринг А. Может ли машина мыслить? М. ГИФМЛ. 1960.
2. Аквинский Ф. Сумма теологии. М. АСТ. 2019. С. 100.
3. Бурцев М.С., Бухвалов О.Л., Ведяхин А.А. и др. На подступах к сверхразуму. Сильный искусственный интеллект. Альпина паблишер. М. 2021.
4. Толгуров Т.З., Бозиев А.Т., Край К.Ф. К проблеме имитации апперцептивных процессов системами искусственного интеллекта//Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. № 5 (109). 2022. С. 81–93.
5. Лекун Я. Как учится машина. Революция в области нейронных сетей и глубокого обучения. Альпина паблишерс. М. 2019. С.16.
6. Таулли Т. Основы искусственного интеллекта. СПб. БХВ-Петербург. 2021. С.27.
7. Хант Э. Искусственный интеллект. М. Мир. 1978. С.18.
8. Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта. М. Радио и связь. 1985. С. 157–213
9. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. Изд 2-е. М. ООО «И.Д.Вильямс» 2006. С. 194.
10. Валиев К.А., Кокин А.А. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. Ижевск. РХД. 2001. С. 66–92.

ПРИМЕНЕНИЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТИ ДЛЯ ПОИСКА НОВЫХ ТЕРМИНОВ И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В МНОГОМОДАЛЬНЫХ ДАННЫХ АИС НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

APPLICATION OF SEMANTIC NETWORK FOR SEARCH OF NEW TERMS AND PATTERNS IN MULTIMODAL AIS DATA BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

V. Yurchak

Summary. With the introduction of artificial intelligence into the analysis and processing of multimodal data, it has become possible to extract information from unstructured texts, to perform automatic clustering, Categorization and classification of information with subsequent use in various scientific and production sectors. Automated analysis allowed researchers not only to collect and study the amount of material that could not be analyzed manually, but also to identify patterns and relationships between different terms. Automated analysis based on international computer systems, The dictionary and database set itself the task of searching for new concepts and terms in already analyzed multidimensional data sets. This article addresses the problem of automated analysis of multimodal data, namely: identification of common terms and concepts at the junction of one or more subject areas (thematic clusters). In particular, the study describes approaches to building a semantic network at the intersection of several subject areas (thematic clusters) based on the terms of the international knowledge base of medical publications (PubMed) and the international dictionary of medical terms (UMLS). The approaches to building a semantic network at the intersection of several subject areas (thematic clusters) considered in this article include mechanisms for forming thematic clusters, The identification of semantic links between terms and the visualization of new terms. The result described in this article is the creation of a semantic network (graph) «Diseases and their mutations» on the basis of PubMed libraries (PMC) and UMLS, which will help to define new terms for disease mutations and understand the reasons why they occur.

Keywords: semantic network(graph), multimodal data, automated analysis, UMLS, PubMed, BERTopic, thematic clusters.

Юрчак Владимир Александрович

Аспирант, Российский новый университет (РосНОУ)
yurchak777x@gmail.com

Аннотация. С внедрением искусственного интеллекта в процессы анализа и обработки многомодальных данных стало возможно извлекать информацию из неструктурированных текстов, проводить автоматическую кластеризацию, категоризацию и классификацию информации с последующим ее использованием в различных научных и производственных секторах. Автоматизированный анализ позволил исследователям не только собирать и изучать объем материала, анализ которого вручную невозможен, но и выявлять закономерности и взаимосвязи между различными терминами. Автоматизированный анализ на основе международных компьютерных систем, словарей и баз знаний поставил перед собой задачу поиска новых понятий и терминов в уже проанализированных массивах многомерных данных. В рамках данной статьи рассматривается проблема автоматизированного анализа многомодальных данных, а именно: выделения общих терминов и понятий на стыке одной или нескольких предметных областей (тематических кластеров). В частности, в исследовании описываются подходы к построению семантической сети на стыке нескольких предметных областей (тематических кластеров) на базе терминов международной базы знаний медицинских публикаций (PubMed) и международного словаря медицинских терминов (UMLS). Рассматриваемые в рамках данной статьи подходы к построению семантической сети на стыке нескольких предметных областей (тематических кластеров) включают механизмы формирования тематических кластеров, выделение семантических связей между терминами и визуализацию новых терминов. Результатом, описанным в рамках данной статьи, становится создание семантической сети(графа) «Заболеваний и их мутаций» на базе библиотек PubMed (PMC) и UMLS, которая позволит определять новые термины мутаций заболеваний и понимать причины их появления.

Ключевые слова: семантическая сеть (граф), многомодальные данные, автоматизированный анализ, UMLS, PubMed, BERTopic, тематические кластеры.

Введение

В последнее время наблюдается значительный рост объема текстовой информации. Этот огромный объем данных представляется в различных формах, таких как записи в социальных сетях, записи осмотра пациентов, данные медицинского страхования, статьи новостных агентств, отчеты о работе технических устройств. Весь этот огромный объем данных формиру-

ет целые кластеры, содержащие информацию из различных источников таких как: базы данных, озера данных (DataLake) и данные Dashboards. Вместе все эти огромные объемы информации составляют многомодальные данные.

Определение 1. Многомодальные данные — это данные, которые представлены в нескольких модальностях: текст, изображения, аудио и видео. Слияние многомо-

дальних данных — это синергетическое использование информации, полученной из разных модальностей (каналов взаимодействия) [6].

С внедрением искусственного интеллекта в процессы анализа и обработки многомодальных данных стало возможно извлекать информацию из неструктурированных текстов, проводить автоматическую кластеризацию, категоризацию и классификацию информации с последующим ее использованием в различных научных и производственных секторах [16].

Автоматизированный анализ позволил исследователям не только собирать и изучать объем материала, анализ которого вручную невозможен, но и выявлять закономерности и взаимосвязи между различными терминами.

В настоящее время существует проблема выделения общих терминов и понятий на стыке одной или нескольких предметных областей (тематических кластеров). Автоматизированный анализ на основе международных компьютерных систем, словарей и баз знаний ставит перед собой задачу поиска новых понятий и терминов в уже проанализированных массивах многомерных данных. Целями автоматизированного анализа является нахождение закономерной и связей новых терминов с существующими понятиями, содержащими в международных компьютерных системах и базах знаний таких как: UMLS, PubMed, Babelnet, DBpedia, WordNet и других [7–8].

В рамках данной статьи будут освещены основные подходы к поиску новых понятий и терминов в международной базе знаний медицинских публикаций PubMed и международном словаре медицинских терминов UMLS. Главными задачами, описанными в рамках исследования, будут:

- механизм формирования тематических кластеров в распознанных и размеченных многомерных данных [1];
- механизм выделения семантических связей терминов в рамках нескольких тематических кластеров;
- визуализация новых терминов и понятий в рамках нескольких тематических кластеров.

Результатами исследования, описанными в данной статье, служат создание семантической сети(графа) «Заболеваний и их мутаций» на базе библиотек PubMed (PMC) и UMLS. Использование международной базы знаний медицинских публикаций PubMed и международного словаря медицинских терминов UMLS в качестве базового набора данных может служить ключом для поиска новых заболеваний, помогая исследователям проследить динамику изменения взаимосвязей между

заболеваниями. Данное исследование играет важную роль в определении новых мутаций заболеваний и понимания причин их появления [5].

Статья организована следующим образом. В разделе 1 содержится информация о методах извлечения многомодальных данных из автоматизированной информационной системы на базе искусственного интеллекта.

В разделе 2 описан подход к формированию общих тематических кластеров на примере международной базы знаний медицинских публикаций PubMed и международного словаря медицинских терминов UMLS.

В разделе 3 приводится информация о методе выделения семантических связей терминов на примере автоматизированной информационной системы на базе искусственного интеллекта, использующей в исследовании набор из международной базы знаний медицинских публикаций PubMed и международного словаря медицинских терминов UMLS.

Результаты исследования и их обсуждение приводятся в разделе 4 Заключение.

1. Методы извлечения многомодальных данных из автоматизированной информационной системы на базе искусственного интеллекта

Автоматизированная информационная система на базе искусственного интеллекта основана на обращении к электронным ресурсам для хранения структурированной информации, включая научные публикации, обзоры научных исследований и т.д.

В рамках данного функционала ИС выполняется обращение к международной базе медицинских публикаций PubMed и международному словарю UMLS, которые позволяют хранить научные статьи со следующими полями: тип публикации, заголовок, авторы, аннотация, ключевые слова, год публикации, разделы документа. Для работы с этой информацией используется база данных Sqlite, в которой были созданы соответствующие таблицы с полями для хранения данных. Выгрузка данных из библиотек UMLS и PubMed (PMC) ведется с использованием Entrez утилит [7–8]. В информационной системе формируется запрос, который далее направляется PubMed (PMC). Затем в информационной системе формируется запрос, который далее направляется UMLS. В результате выполнения поискового запроса на сервере в базе данных формируется структурированный по разделам корпус документов. Также автоматизированная информационная система предоставляет функционал построения семантической сети в виде структурированного графа, формируемого на основе медицинских терминов из международного

словаря UMLS и распознанных разделов корпуса текста каждой публикации PubMed. Медицинский термин в паре с идентификатором статьи задают topic (тематику) публикации [7–8]. В рамках одной публикации алгоритмы искусственного интеллекта позволяют выделить несколько topic(тем). Благодаря алгоритмам кластеризации из нескольких topic формируется один общий тематический кластер, который вместе с номером публикации в международной базе данных и мерой косинусного сходства отображается на узловых точках графа [13]. Построенные в виде семантического графа topic по каждой публикации сравниваются с терминами, полученными из библиотек UMLS и Pubmed (PMC) с целью поиска потенциально новых терминов в разделах публикации. Динамика изменения медицинских терминов отражается в семантической сети, представленной в виде графа «Заболеваний и их мутаций» на базе библиотек PubMed (PMC) и UMLS для определения потенциально новых заболеваний и причин их появления [7–8].

В рамках функционала автоматизированной информационной системы на базе искусственного интеллекта реализован метод извлечения медицинских терминов из публикаций PubMed и словаря UMLS. Целью предлагаемого метода извлечения терминов является изучение массива терминов заболеваний из корпуса текстов. Перед извлечением терминов корпус текстов подвергается предварительной обработке.

А. Формирование корпуса документов:

Выгрузка данных из библиотек PubMed(PMC) и UMLS осуществляется с помощью Entrez утилит. В автоматизированной информационной системе формируется запрос, который затем отправляется в PubMed(PMC) и UMLS. В результате поискового запроса на сервере формируется корпус документов, загруженных из библиотеки PubMed и список размеченных медицинских терминов из библиотеки UMLS. Каждый документ включает название статьи, информацию об авторе, тип документа, дату публикации и аннотацию [7–8].

Б. Предварительная обработка:

В процедуре извлечения терминов из медицинских текстов в автоматизированной информационной системе на базе искусственного интеллекта используется стандартный набор стоп-слов (включал только союзы, междометия и т. д). Для борьбы с проблемой наличия «шума» (большого количества слов или словосочетаний из немедицинских терминов) расширяется набор стоп-слов. Данное решение позволяет снизить количество «шума» при извлечении медицинских терминов из научных документов посредством автоматической обработки [7–8].

В. Извлечение термина:

Извлечение терминов в автоматизированной информационной системе на базе искусственного интеллекта происходит с использованием следующих грамматических категорий: простое существительное, существительные во множественном числе, прилагательное, герундий, иностранное слово. В результате обработки публикаций корпуса текстов идентифицируют термины в виде n-грамм, выполняется лемматизация (приведение слов текста к нормальной форме) [7–8].

2. Подход к формированию общих тематических кластеров на примере международной базы знаний медицинских публикаций PubMed

В основе выделения тематических кластеров лежат методы кластеризации многомодальных данных. Под кластеризацией многомодальных данных понимают процесс группировки информации по их семантической схожести. Любое сходство может быть оценено численно, например, расстояние между терминами из двух слов. Кластеры представляют собой не только набор значений объектов с числовым сходством, но и группу объектов, которые представляют одно и то же понятие друг для друга. Высокая эффективность и точность кластеров данных — две основные и важные цели кластеризации [3].

В рамках функционала автоматизированной информационной системы искусственного интеллекта в разделе построения семантической сети, представленной в виде графа

«Заболеваний и их мутаций» на базе библиотек PubMed(PMC) и UMLS используется перекрывающаяся и нечеткая кластеризация медицинских терминов.

Перекрывающаяся и нечеткая кластеризация позволяет определить принадлежность термина к нескольким тематическим группам, находящимся между двумя кластерами. Кроме того, каждый медицинский термин относится к кластеру с весом (вероятностью) от 0 до 1, где 0 — абсолютно не принадлежит, 1 — полностью принадлежит [14].

В рамках функционала информационной системы искусственного интеллекта в разделе построения семантической сети, представленной в виде графа «Заболеваний и их мутаций» на базе библиотек PubMed(PMC) и UMLS используется метод тематического моделирования BERTopic [14].

Метод тематического моделирования BERTopic использует возможности языковой модели BERT, основанной на архитектуре трансформер. Подобно Top2Vec,

BERTopic использует UMAP для уменьшения размеров и HDBSCAN для кластеризации многомодальных данных. Встраивание слов создается на основе следующих моделей, а именно: LaBSE, парафраза-MiniLM-L3-v2, all-MiniLM-L6-v2, all-MiniLM-L12-v2, all-mpnet-base-v2 [14].

Метод тематического моделирования BERTopic в отличие от алгоритма LDA (Латентного размещения Дирихле), предоставляет форму непрерывного тематического моделирования, а не дискретного. После расчета модели исследователи извлекают наиболее важные темы [14].

Метод тематического моделирования BERTopic позволяет выполнять поиск по конкретным ключевым словам и получать наиболее релевантные темы на основе их показателей сходства. Они также могут углубляться в отдельные темы, изучая связанные с ними ключевые слова [14].

В рамках функционала информационной системы искусственного интеллекта в разделе построения семантической сети, представленной в виде графа» Заболеваний

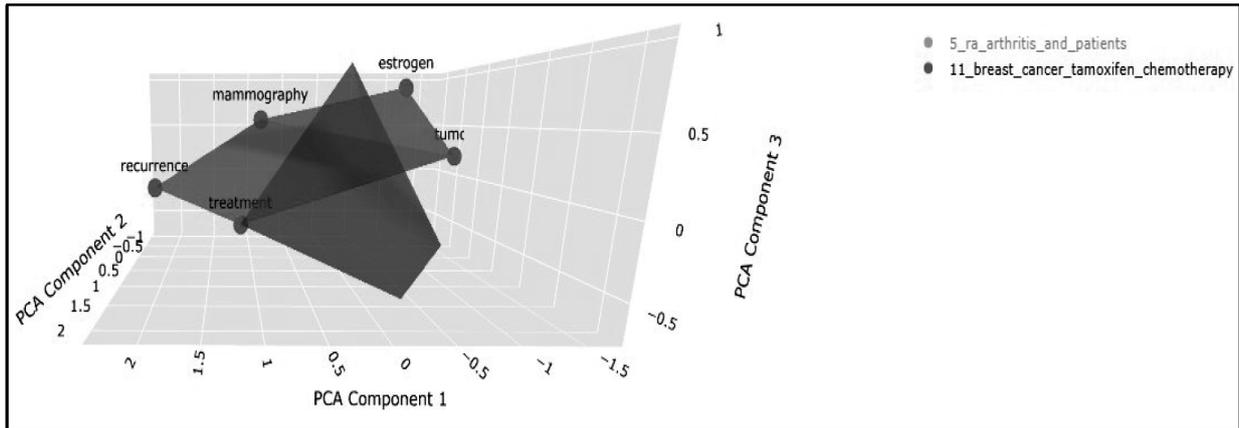


Рис. 1. Результаты визуализации медицинских терминов: интерактивная карта межтемных расстояний

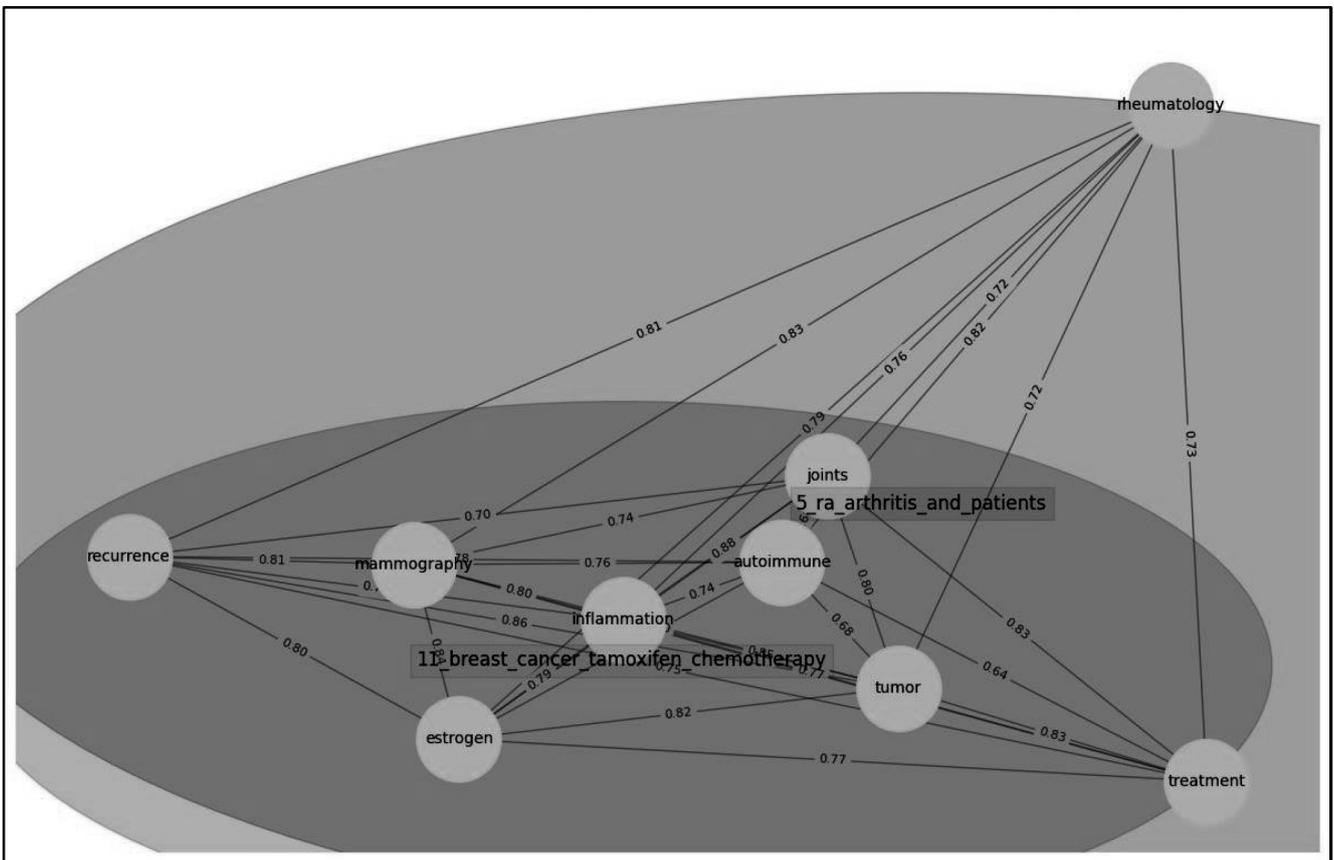


Рис. 2. Результаты визуализации медицинских терминов: тематические кластеры с автоматическим размещением на основе семантического сходства медицинских терминов

index	Термины	Термины из тематического кластера "Arthritis and patients"					Термины из тематического кластера "Breast cancer tamoxifen chemotherapy"					Термины
		inflammation	joints	autoimmune	rheumatology	treatment	mammography	tumor	estrogen	treatment	recurrence	
2							0.87	0.90	0.84	0.88	0.88	inflammation
3							0.84	0.88	0.83	0.87	0.85	joints
4							0.79	0.83	0.86	0.76	0.86	autoimmune
5							0.91	0.86	0.87	0.87	0.87	rheumatology
6							0.87	0.86	0.80	1.00	0.84	treatment
7	mammography	0.87	0.84	0.79	0.91	0.87						
8	tumor	0.90	0.88	0.83	0.86	0.86						
9	estrogen	0.84	0.83	0.86	0.87	0.80						
10	treatment	0.88	0.87	0.76	0.87	1.00						
11	recurrence	0.88	0.85	0.86	0.87	0.84						

Рис. 3. Результаты по семантическому схождению медицинских терминов 2-ух тематических кластеров

и их мутаций» на базе библиотек PubMed(PMC) и UMLS метод тематического моделирования BERTopic предоставил интерактивную карту межтемных расстояний по каждому медицинскому. Результаты визуализации медицинских терминов представлены на рис. 1 и рис. 2.

Представленные выше рисунки отображают пересечение двух различных тематических кластеров, построенных на основе метода BERTopic. Пересечение тематических кластеров происходит в узловых точках терминов [14]. Каждый термин является ключевым понятием в рамках тематического кластера. Однако при наложении терминов в рамках 2 и более тематических кластеров ключевых понятий отображается числовая мера приближения, выраженная в вероятности семантического схождения данного термина из 1-го тематического кластера к тому же термину из 2-го тематического кластера. Результаты по семантическому схождению медицинских терминов представлены на рис. 3.

В процессе построения интерактивной карты межтемных расстояний по каждому медицинскому было выявлено, что ключевую роль при построении ассоциативных связей между терминами на основе многомодальных данных играют отношения синонимии и определения, которые позволяют проецировать известные свойства на новые сущности.

3. Метод выделения семантических связей терминов на примере международной базы знаний медицинских публикаций PubMed и словаря медицинских терминов UMLS

Концепция семантических связей (сетей) была впервые предложена Тимом Бернерсом-Ли, основателем Всемирной паутины, в 2001 году. Согласно концепции Тима Бернерсома-Ли, семантическая связь (сеть) является расширением и дополнением всемирной паутины, которая обеспечивает взаимосвязь данных в Интернете таким образом, что их семантика может быть автоматически понятна машинам.

Определение 1. Семантическая связь в основном предоставляет механизм для семантического представления информации, конечной целью которого является реализация совместного использования информации и семантической совместимости [12].

Семантическая сеть опирается на онтологии, чтобы управлять обменом и повторным использованием знаний.

Определение 2. Онтология — это стандартная концептуальная система в семантической сети, удобная для компьютеров. Онтология обеспечивает основную технологию построения взаимосвязей объектов и является ключом к реализации семантической сети [4].

В данном разделе описывается метод построения семантической сети, представленной в виде графа «Заболеваний и их мутаций» на базе библиотек PubMed(PMC) и UMLS, которая включает в себя онтологию заболевания, онтологию мутаций заболеваний и связи между ними, помогая исследователям проследить динамику изменения взаимосвязей между заболеваниями. Данное исследование играет важную роль в определении новых мутаций заболеваний и понимания причин их появления.

Метод создания семантической сети, представленной в виде графа «Заболеваний и их мутаций» на базе библиотек PubMed(PMC) и UMLS предполагает интеграцию онтологии заболевания и онтологии мутации заболеваний. Процесс создания онтологий мутаций заболеваний проходит следующие этапы:

А. Сбор корпуса текстов: получение корпуса текстов о мутациях заболеваний из авторитетных баз знаний в области медицины, таких как PubMed(PMC) и UMLS.

Б. Определение словарного запаса мутаций заболеваний: Выявление потенциальных слов для включения в словарь, описывающих мутации заболеваний.

В. Вычисление семантического сходства: Вычисление показателей семантического сходства между словами-мутациями заболеваний в наборе многомодальных данных для количественной оценки их концептуального родства.

Г. Формирование онтологии симптомов: Слияние слов-мутаций заболеваний со значительным семантическим сходством для создания уточненной онтологии мутаций заболеваний.

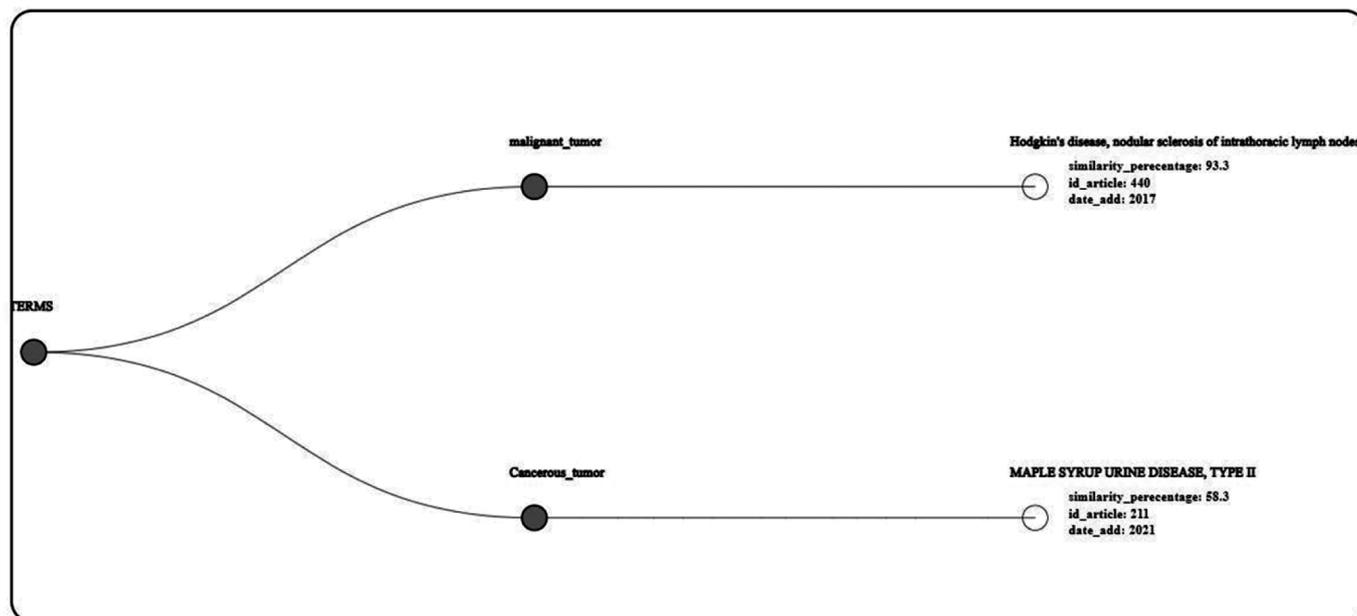


Рис. 4. Результаты процесса создания онтологий мутаций заболеваний в виде семантического графа «Заболеваний и их мутаций»

Результаты процесса создания онтологий мутаций заболеваний представлены в виде семантического графа «Заболеваний и их мутаций» на рис. 4.

Семантический граф «Заболеваний и их мутаций», основанный на иерархической структуре содержит в своей основе синонимичные пары терминов «болезнь — мутация болезни», объединенные в рамках общих тематических кластеров, построенных на основе ранее описываемого метода тематического моделирования BERTopic. Синонимичные пары терминов «болезнь — мутация болезни» представлены на графе в виде узлов, где между понятиями, описывающими похожие заболевания устанавливается семантическая связь на основе их корней и других лексических особенностей семантической категории [12]. Взаимосвязь между заболеваниями и мутациями заболеваний, отраженная на семантическом графе «Заболеваний и их мутаций» является строго односторонней. При некоторых заболеваниях наряду с редкими мутациями заболеваний могут присутствовать и распространенные. Помимо установления базовой связи «болезнь — мутация болезни», в данном семантическом графе отражается вес каждой мутации заболевания являющийся числовой мерой приближения данного термина к исходному термину заболевания [12].

Метод, использующийся при построении семантического графа «Заболеваний и их мутаций» строит синонимичные связи на основе словаря терминов из библиотеки UMLS, описывающего вес каждой мутации заболевания. Затем термины из библиотеки UMLS, описывающий вес каждой мутации заболевания, находятся в текстах корпуса, а понятия — заболевания в том же

предложении извлекаются на основе расширенного набора мутаций заболеваний. Этот процесс определяет вес как числовую меру приближения мутации заболевания к конкретному заболеванию, облегчая установление взаимосвязей между заболеванием и его мутацией.

Заключение

В настоящее время автоматизированный анализ позволил исследователям не только собирать и изучать объем материала, анализ которого вручную невозможен, но и выявлять закономерности и взаимосвязи между различными терминами. Целями автоматизированного анализа стал поиск закономерной и связей новых терминов с существующими понятиями, содержащимися в международных компьютерных системах и базах знаний таких как: UMLS, PubMed, Babelnet, DBpedia, WordNet и других.

В рамках данной статьи были освещены подходы к поиску новых понятий и терминов в международной базе знаний медицинских публикаций PubMed и международном словаре медицинских терминов UMLS. Главными задачами, рассмотренными в рамках исследования, были:

- механизм формирования тематических кластеров в распознанных и размеченных многомерных данных;
- механизм выделения семантических связей терминов в рамках нескольких тематических кластеров;
- визуализация новых терминов и понятий в рамках нескольких тематических кластеров.

С помощью методов обработки естественного языка и интеллектуального анализа текста в библиотеках PubMed(PMC) и UMLS были получены онтологии заболеваний, онтологии мутаций заболеваний и связи между ними, помогая исследователям проследить динамику изменений взаимосвязей между заболеваниями. Также в международном словаре медицинских терминов UMLS был получен расширенный набор слов-кандидатов мутаций заболеваний. Этот набор включал в себя взаимосвязи между заболеванием и последствием заболевания (мутацией заболевания). По мере развития биоинформатики и расширения диапазона соответствующих источников данных будущие исследования будут направлены на обогащение библиотек PubMed(PMC) и UMLS дополнительными биомедицинскими характеристиками для повышения семантической точности и полноты моделей семантической сети.

В рамках данного исследования были описана модель семантической сети (графа) «Заболеваний и их мутаций» на базе библиотек PubMed(PMC) и UMLS. Использование международной базы знаний медицинских публикаций PubMed и международного словаря медицинских терминов UMLS в качестве базового набора данных послужило ключом для поиска новых заболеваний. Главным атрибутом модели семантической сети(графа) «Заболеваний и их мутаций» на базе библиотек PubMed(PMC) и UMLS стали онтологии. В модели семантической сети(графа) именно онтологии обеспечили основную технологию построения взаимосвязей объектов и стали ключом к реализации семантической сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юрчак В.А., Инструменты решения проблем распознавания и кластеризации данных из документов методами машинного обучения/Золотарев О.В., Юрчак В.А.// ИВД. — 2023. — № 2 (98). — С. 156–164.
2. Корней А.О., Семантико-статистический алгоритм определения категорий аспектов в задачах сентимент-анализа /Корней А.О., Крючкова Е.Н.// Известия ЮФУ. Технические науки. — 2020. — №6 (216). — С. 66–74.
3. Юрчак В.А., Решение проблемы кластеризации документов методами машинного обучения/Юрчак В.А., Маликов А.В., Т.-А.А.Хаитов// Журнал «Наука и бизнес: пути развития». — 2024. — №3 (153). — С. 12–15.
4. Клименко С.В., Использование онтологического подхода для анализа текстов естественного языка/ Клименко С.В., Золотарев О.В. Шарин М.М.//Вестник российского нового университета. Серия: сложные системы: модели, анализ и управление. — 2017. — С.67–71.
5. Хакимова А.Х., Подходы к созданию многоязычного лексического ресурса для семантометрической оценки межъязыкового семантического подобию текстов/ Хакимова А.Х., Золотарев О.В., Шарнин М.М. // Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Научно-исследовательский центр физико-технической информатики. — 2019. — С. 319–324.
6. Иванова О.Н., Классификация мультимодальных данных о заболеваниях легких на основе позднего слияния модальностей/Иванова О.Н., Кумар Сэчин, Цымблер М.Л., Иванова Е.В.//Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. — 2024. — №1. — С. 74–86.
7. Программа выделения терминов из корпуса текстов/ Золотарев О.В. [и другие]// Автономная некоммерческая организация высшего образования «Российский новый университет». — 2023. — С. 1–2.
8. Программа построения структурированного корпуса текстов на основе электронных баз публикаций/Золотарев О.В. [и другие]//Автономная некоммерческая организация высшего образования «Российский новый университет». — 2023. — С. 1–2.
9. Модель и технология извлечения новых терминов из медицинских текстов/Золотарев О.В. [и другие]//Информатика и ее Применения. — 2022. — С. 80–86.
10. Мера подобию текстов как инструмент оценки интертекстуальности при анализе больших коллекций документов/Золотарев О.В. [и другие]//Вестник российского нового университета. Серия: сложные системы: модели, анализ и управление. — 2016. — С. 62–71.
11. Методика построения ассоциативно-иерархического портрета предметной области: иерархия категорий/Клименко С.В. [и другие]//Автономная некоммерческая организация «Институт физико-технической информатики». — 2017. — С. 251–260.
12. Y. Li, W. Wang, X. Yan, M. Gao, M. Xiao. Research on the Application of Semantic Network in Disease Diagnosis Prompts Based on Medical Corpus//International Journal of Innovative Research in Computer Science and Technology (IJIRCST). — 2024,1–9. Available from: <https://doi.org/10.55524/ijircst.2024.12.2.1>
13. Тутубалина Е.В. Модели и методы автоматической обработки неструктурированных данных в биомедицинской области: дис. доктора компьютерных наук. — Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2023. — 225 с.
14. Бручес Е.П. Методы и алгоритмы распознавания и связывания сущностей для построения систем автоматического извлечения информации из научных текстов: дис. на соискание учёной степени кандидата технических наук. — Новосибирск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем информатики им. Ершова, 2021. — 112 с.
15. Корней А.О. Методы и алгоритмы аспектного анализа тональности на основе гибридной семантико-статистической модели естественного языка: дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. — Барнаул: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 2021. — 134 с.
16. Дударин П.В. Исследование и разработка моделей и методов нечеткой кластеризации коротких текстов: дис. на соискание учёной степени кандидата технических наук. — Ульяновск: «Ульяновский государственный технический университет», 2021. — 141 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОСТНОЙ ПЛАСТИКИ У ПАЦИЕНТОВ С АТРОФИЕЙ ЧЕЛЮСТНЫХ КОСТЕЙ

OPTIMIZATION OF BONE GRAFTING IN PATIENTS WITH JAW BONE ATROPHY

**D. Avedova
Yu. Osipova
L. Ziulkina
O. Ilyunina**

Summary. According to the numerous studies results, autogenous bone graft has received the title of 'gold standard' among all bone bioimplants. However, the generally recognized disadvantages associated with donor site traumatization, increased surgical intervention time and limited volume reduce the potential of using this material in the repair of complex bone defects. The effectiveness of guided bone regeneration (GBR) with application of bone grafting material composed of equal proportions of autograft and xenograft was experimentally researched. Indicators of bone tissue regeneration 6 months after surgery indicate positive effect of using proposed combination of bone grafting materials for GBR. Application of bone grafting material composed of equal proportions of autogenous bone and xenograft made it possible to reduce the amount of donor site traumatization without compromising treatment results. The obtained conclusions allow us to recommend the proposed combination of biomaterials for application in clinical practice.

Keywords: guided bone regeneration, autogenous bone graft, xenograft..

Аведова Диана Юрьевна

Аспирант, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского»
sto-kafedra@yandex.ru

Осипова Юлия Львовна

доктор медицинских наук, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского им. В.И. Разумовского»
osipova-sgtmu@mail.ru

Зюлькина Лариса Алексеевна

доктор медицинских наук, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
larisastom@yandex.ru

Илюнина Ольга Олеговна

кандидат медицинских наук, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
olya.ilunina@yandex.ru

Аннотация. По результатам многочисленных исследований, аутогенная кость получила титул «золотого стандарта» в линейке костных биоимплантатов. Однако общепризнанные недостатки, связанные с травматизацией донорского участка, увеличением времени оперативного вмешательства и ограниченным объемом, снижают потенциал использования данного материала при восполнении сложных костных дефектов. Экспериментально определена эффективность направленной регенерации костной ткани (НРКТ) с использованием композиции остеопластического материала, состоящего из равных долей аутогенной кости и ксеногенного материала. Показатели восстановления костной ткани через 6 месяцев после проведения оперативного вмешательства свидетельствуют о положительном эффекте применения предложенной комбинации остеопластического материала для НРКТ. Использование композиции, состоящей из равных долей аутогенной кости и ксеногенного материала, позволили снизить объем травматизации донорской зоны без ущерба для результата лечения. Полученные выводы позволяют рекомендовать предложенное сочетание биоматериалов к применению в клинической практике.

Ключевые слова: направленная регенерация костной ткани, аутогенный остеопластический материал, ксеногенный остеопластический материал.

Введение

Костная пластика прочно вошла в арсенал стоматологических манипуляций при восполнении объема костной ткани челюстей вследствие ее трехмерной атрофии в ходе таких операций, как дентальная имплантация, пародонтологические вмешательства, протезирование в эстетически значимой зоне, реабилитационные процедуры после травм и инвалидизирующих состояний. Эволюция создания остеопластических материалов для реконструкции челюстных костей привела к формированию широкого спектра указанных материалов,

однако совершенствование их свойств продолжается по сегодняшний день. Во-первых, это связано с увеличивающимся спросом на подобного рода операции вследствие увеличения продолжительности жизни населения, что сопровождается ростом количества пациентов пожилого и старческого возраста со вторичной адентией. Во-вторых, изменяются требования пациентов к результатам стоматологического лечения, при этом варианты съемного протезирования становятся менее привлекательными для большинства пациентов в силу сложности адаптации и недостаточных эстетических свойств. В ряде случаев пациенты отказываются и от

мостовидных протезов в пользу сохранения интактных зубов. Все вышеуказанные причины определили тренд на совершенствование костной пластики, в том числе и за счет разработки новых костных биоимплантатов, как одно из самых перспективных направлений современной стоматологии [1, 2].

По результатам многочисленных исследований, аутогенная кость получила титул «золотого стандарта» в линейке костных биоимплантатов. Однако общепризнанные недостатки, связанные с травматизацией донорского участка, увеличением времени оперативного вмешательства и ограниченным объемом, снижают потенциал использования данного материала при восполнении сложных костных дефектов. Кроме того, техника забора аутокости не является простой процедурой и при увеличении продолжительности времени от момента ее извлечения из донорской зоны до имплантации в реципиентный участок снижается остеогенный потенциал аутотрансплантата, что в конечном итоге влияет на ход неоостеогенеза.

Вызывает вопросы относительно высокая скорость резорбции подобных биоимплантатов, что ограничивает их применение при обширных дефектах, а также при сохранении гребня после операции удаления зуба с последующей имплантацией [4].

Логичным решением для нивелирования указанных недостатков стало применение комбинированных биоимплантатов, содержащих предшественников различных групп остеопластических материалов. С этой точки зрения в протокол оперативного вмешательства стали включать биоматериалы, содержащие в своем составе аутокость в сочетании с ксеногенными материалами. Существующие методы производства ксеногенных материалов позволяют устранить все органические компоненты кости, включая иммунологически активные компоненты, сохранив при этом интактным минеральный костный матрикс. По данным многочисленных исследований, ксеногенные материалы обладают необходимой биосовместимостью, имеют высокий регенеративный потенциал и длительную кинетику резорбции [3, 5]. Известны работы, свидетельствующие о сохранении трансплантата спустя годы после проведенной операции. Это свойство обеспечивает трехмерную стабильность полученного регенерата и, как результат, успех лечения в долгосрочной перспективе [6].

Цель исследования: экспериментально определить эффективность направленной регенерации костной ткани (НРКТ) с использованием композиции остеопластического материала, состоящего из равных долей аутогенной кости и ксеногенного материала.

Материалы и методы

Объектом исследования послужили 12 половозрелых кролика породы шиншилла массой 2500–3200 г

мужского пола, которым в зоне диастемы формировали искусственный костный дефект, после чего проводили НРКТ. Для методики НРКТ использованы материалы «Xenograft Mineral» и биорезорбируемая мембрана «bioPLATE Barrier» ООО «Кардиоплант» (Россия), имеющие регистрационные удостоверения. Источником аутогенной кости в виде костной стружки стала нижняя челюсть. Животных выводили из эксперимента через 14, 30, 90 и 180 суток после операции, забирали фрагмент челюсти в зоне проведения НРКТ, осуществляли гистологическое исследование. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакетов прикладных программ «Statistica V.10»

Результаты исследования

Результаты гистоморфометрии извлеченных фрагментов нижней челюсти оценивали по показателям толщины и объемной доле соединительной ткани, диаметру и объемной доле кровеносных сосудов, объемной доле остеоида, содержанию костной ткани. Через 2 недели после операции НРКТ толщина соединительной ткани составила $64,83 \pm 6,43$ мкм, причем ее объемная доля в исследуемых образцах составила $43,22 \pm 5,04$ %. В ходе ремоделирования к концу первого месяца показатель снизился на 22,1 %, что свидетельствовало о благоприятном течении процесса неоостеогенеза. К окончанию третьего и шестого месяца наблюдений проходило закономерное уменьшение толщины соединительно-тканного компонента на 38,6 % и 59,6 %, соответственно, от его исходных значений на первом этапе наблюдения. Объемная доля исследуемого компонента к исходу исследования составила лишь $19,85 \pm 4,25$ %.

К 14-м суткам исследования диаметр кровеносных сосудов в исследуемой зоне составил $21,46 \pm 2,24$ мкм, после чего отмечена предсказуемо нарастающая динамика показателя: к концу 30-х суток значения составили $21,84 \pm 2,82$ мкм, через 60 суток рост отмечен на уровне 2,3 % и к концу периода наблюдений значения увеличились на 5,8 %, достигнув результата $23,64 \pm 3,20$ мкм. Объемная доля новообразованных сосудов возрастала с 2,05 % через 2 недели после оперативного вмешательства до 3,03 % к окончанию срока наблюдений.

Одним из значимых критериев оценки качества формируемого регенерата является объемная доля остеоида, регистрируемая в участке регенерации. На 14-е сутки наблюдений в гистологических образцах процентное содержание остеоида составило $9,32 \pm 0,41$ %, а уже к концу первого месяца увеличилось более чем в полувину (на 58,5 %), составив $14,77 \pm 1,98$ %, при этом важно отметить, что на этапе созревания костной ткани доля остеоида закономерно существенно снизилась, составив к окончанию наблюдений $2,25 \pm 0,42$ %.

Объемная доля зрелой кости в формируемом регенерате также имеет важное прогностическое значение. Экспериментально показано, что при использовании предложенного биоимплантата зрелая кость в гистологических образцах в среднем выявляется на уровне $37,28 \pm 3,11$ % уже к окончанию 14-х суток, а через шесть месяцев ее процентное содержание составляет $70,61 \pm 6,08$ %, что свидетельствует о биологически обоснованных темпах неоостеогенеза и может обеспечить предсказуемость хирургического вмешательства в полости рта.

Заключение

Таким образом, показатели восстановления костной ткани через 6 месяцев после проведения оперативного

вмешательства свидетельствуют о положительном эффекте применения предложенной комбинации остеопластического материала для НРКТ. Использование композиции, состоящей из равных долей аутогенной кости и ксеногенного материала, позволили снизить объем травматизации донорской зоны без ущерба для результата лечения. Полученные выводы позволяют рекомендовать предложенное сочетание биоматериалов к применению в клинической практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дробышев, А.Ю. Челюстно-лицевая хирургия / А.Ю. Дробышев, О.О. Янушевич. — Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2018. — 880 с.
2. Кулаков, А.А. Дентальная имплантация: национальное руководство / А.А. Кулаков. — Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2018. — 400 с.
3. Тарасенко, С.В. Сравнительный гистологический анализ применения синтетических и ксеногенных остеопластических материалов для аугментации альвеолярного отростка верхней челюсти перед дентальной имплантацией / А.М. Шехтер, И.В. Ершова, И.В. Бондаренко // Российская стоматология. — 2016. — Т. 9. — №3. — С. 3–7.
4. Miron, R.J. Optimized bone grafting / R.J. Miron // Periodontol 2000. — 2024. — Vol. 94, №1. — P. 143–160.
5. Méndez, C.A.S. Comparison of allografts and xenografts used for alveolar ridge preservation. A clinical and histomorphometric RCT in humans / C.A.S. Méndez, N.P. Lang, M. Caneva, G.R. Lemus, G.M. Solano, D. Botticelli // Clin Implant Dent Relat Res. — 2017. — Vol. 19. — №4. — P. 608–615.
6. Pabst, A. A comparative analysis of particulate bovine bone substitutes for oral regeneration: a narrative review / A. Pabst, P. Becker, W. Götz, D. Heimes, D.G.E. Thiem, S. Blatt, P.W. Kämmerer // Int J Implant Dent. — 2024. — Vol. 10. — №1. — P: 26.

© Аведова Диана Юрьевна (sto-kafedra@yandex.ru); Осипова Юлия Львовна (osipova-sgmu@mail.ru);
Зюлькина Лариса Алексеевна (larisastom@yandex.ru); Илюнина Ольга Олеговна (olya.ilunina@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

КЛИНИЧЕСКИЙ ПРИМЕР ЛЕЧЕНИЯ МЕСТНО-РАСПРОСТРАНЕННОГО РАКА ВЕРХНЕАМПУЛЯРНОГО ОТДЕЛА ПРЯМОЙ КИШКИ НЕОАДЬЮВАНТНОЙ ВНУТРИАРТЕРИАЛЬНОЙ ХИМИОИНФУЗИЕЙ В НИЖНЮЮ БРЫЖЕЕЧНУЮ АРТЕРИЮ ПРИ МЕСТНО-РАСПРОСТРАНЕННОМ РАКЕ ВЕРХНЕ-АМПУЛЛЯРНОГО ОТДЕЛА ПРЯМОЙ КИШКИ

**A CLINICAL CASE OF THE TREATMENT
OF LOCALLY ADVANCED CANCER
OF THE UPPER AMPULLARY RECTUM
WITH NEOADJUVANT INTRAARTERIAL
CHEMOINFUSION INTO THE INFERIOR
MESENTERIC ARTERY IN LOCALLY
ADVANCED CANCER OF THE UPPER
AMPULLARY RECTUM**

**A. Zagorulko
M. Chernyaev
D. Kozlov
S. Rykov
M. Rozyyeva**

Summary. Rectal cancer is one of the most common malignant tumors worldwide. Due to changes in the structure of the diet, the prevalence and mortality from rectal cancer are increasing year by year. In the early stages of the disease, the clinical picture is erased, in most patients the diagnosis is established at stages II and III, when the process is already locally widespread.

The standard treatment for a locally common process is neoadjuvant chemoradiotherapy and total mesorectal excision followed by postoperative adjuvant chemotherapy. However, only a small proportion of patients can undergo surgical intervention with a resection boundary of R0. For those who are not suitable or do not tolerate surgery, palliative treatment is prescribed, which has an unfavorable prognosis.

Intraarterial chemoinfusion is rarely used in primary rectal cancer. Due to the high risk of systemic side effects during intravenous chemotherapy and the low concentration of the chemotherapy drug acting on the tumor, we decided to change the method of administration of Oxaliplatin for rectal cancer to intra-arterial. This method has been successfully applied in the treatment of a patient with inoperable locally advanced rectal cancer in our hospital. Here we report on the first patient who underwent this method of treatment for the subsequent implementation of the technique in the management of this pathology and, more importantly, to show the safety of the method.

Keywords: oncology, inferior mesenteric artery, rectal tumor, intraarterial chemoinfusion, Oxaliplatin, X-ray endovascular intervention.

Загорюлько Алексей Иванович

Заведующий отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения № 2, Онкологический центр №1 ГБУЗ «ГКБ им. С.С. Юдина ДЗМ»;

кандидат медицинских наук,

*МИ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Москва
alexrus80@mail.ru*

Черняев Михаил Викторович

кандидат медицинских наук,

МИ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»;
врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению, Москва

Козлов Денис Владимирович

кандидат медицинских наук, Московский

многопрофильный клинический центр «Коммунарка»;
*сердечно-сосудистый хирург, Москва
kozlovden@mail.ru*

Рыков Станислав Павлович

*Врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению отделения рентгенохирургических методов рентгенохирургических методов диагностики и лечения № 2, Онкологический центр №1 ГБУЗ «ГКБ им. С.С. Юдина ДЗМ», Москва
stanislav.rykov@yandex.ru*

Розьева Махри

*Российский Университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва
mehrirozyyeva64@gmail.com*

Аннотация. Рак прямой кишки является одной из наиболее распространенных злокачественных опухолей во всем мире. В связи с изменениями в структуре рациона питания, распространенность и смертность от рака прямой кишки увеличиваются год от года. На ранних стадиях заболевания клиническая картина стертая, у большинства пациентов диагноз устанавливается на II и III стадии, когда процесс уже является местно-распространенным.

Стандартным лечением при местно-распространенном процессе является неoadьювантная химиолучевая терапия и тотальное мезоректальное иссечение с последующей послеоперационной адьювантной химиотерапией. Однако, лишь небольшая часть пациентов может быть подвергнута хирургическому вмешательству с границей резекции R0. Для тех, кто не подходит



Введение

Рак прямой кишки это одна из самых распространенных онкологических нозологий в Мире. Наиболее часто это заболевание диагностируется на местно-распространенном этапе, когда неoadъювантная химиолучевая терапия и тотальное мезоректальное иссечение с последующей послеоперационной адъювантной химиотерапией является стандартным сценарием лечения. Учитывая, что значительная часть пациентов имеет ограничения в прохождении такого плана лечения из-за состояния здоровья и сопутствующих патологий, зачастую имеют место неблагоприятные исходы, которым вынуждено предшествуют паллиативные методы лечения. Учитывая высокую частоту системных осложнений при внутривенной химиотерапии и низкой ее эффективности из-за низкой концентрации препарата, мы впервые решили изменить способ введения Оксалиплатина при раке прямой кишки на внутриартериальный. Этот метод был успешно применен при лечении пациента с неоперабельным местно-распространенным раком прямой кишки в нашей больнице. Здесь мы сообщаем о первом пациенте, который подвергся такому сценарию лечения для последующего внедрения методики в схемы ведения данной патологии. Также мы сообщаем о безопасном исходе для этого пациента при подобном пути введения препарата Оксалиплатина.

Мировой опыт

Предоперационная внутриартериальная химиоэмболизация успешно применялась при многих злокачественных новообразованиях.

Кимура и др. сообщили про 50-летнюю пациентку с местно-распространенной карциномой прямой кишки, прорастающей в крестец, которую нельзя было удалить хирургическим путем. Поэтому выполнили колостомию и трансартериальную инфузию противоопухолевых пре-

или не переносит хирургическое вмешательство назначается паллиативное лечение, которое имеет неблагоприятный прогноз.

Внутриартериальная химиоинфузия редко используется при первичном раке прямой кишки. В связи с высоким риском развития системных побочных эффектов при внутривенной химиотерапии и низкой концентрацией воздействующего химиопрепарата на опухоль мы решили изменить способ введения Оксалиплатина при раке прямой кишки на внутриартериальный. Этот метод был успешно применен при лечении пациента с неоперабельным местно-распространенным раком прямой кишки в нашей больнице. Здесь мы сообщаем о первом пациенте, который подвергся этому методу лечения для последующего внедрения методики в схемы ведения данной патологии и, что более важно, показать безопасность метода.

Ключевые слова: онкология, нижняя брыжеечная артерия, опухоль прямой кишки, внутриартериальная химиоинфузия, Оксалиплатин, рентгенэндоваскулярное вмешательство.

паратов, включая 50 мг цисплатина и 10 мг митомицина через нижнюю брыжеечную артерию в сентябре 1999 г. Затем ей была проведена лучевая терапия общей дозой 64 Гр по поводу первичной опухоли. После лучевой терапии пациентка получила 125 мг/м² 1-лейковорина в виде 2-часовой инфузии, а через час после начала инфузии 1-лейковорина она получила внутривенно болюсно 250 мг/м² 5-фторурацила. Этот режим применялся раз в две недели в течение 13 курсов с последующим пероральным приемом 400 мг 5'-дезоксифторуридина в течение одного года. Поскольку химиолучевая терапия привела к успешному ответу, в июне 2001 года пациенту была проведена лечебная резекция первичной опухоли. Резецированная опухоль (32 x 35 мм) имела чистые края. Хотя клетки карциномы исчезли, на обширной площади наблюдались фиброзные поражения. На основании этих патологических данных эффект лечения был оценен как степень Ib [1].

Бини и соавт. использовали химиоэмболизацию загружаемыми сферами, выделяющими лекарственное средство иринотекан у 12 пациентов при местно-распространенном раке прямой кишки, которые все еще не могли перенести операцию после стандартного лечения. Симптомы рака были уменьшены в разной степени. Среди них в 4 случаях наблюдались положительные эффекты, и размеры опухоли были значительно уменьшены. Затем была успешно проведена радикальная операция [2].

Янг и соавт. пришли к выводу, что внутриартериальная химиоэмболизация оксалиплатином плюс сопутствующая химиолучевая терапия в качестве неoadъювантной терапии обеспечивают лучшую частоту патологической ремиссии по сравнению с традиционными методами лечения местно-распространенного рака прямой кишки [3].

Эпидемиология

Рак прямой кишки является одной из основных причин онкологической заболеваемости и смертности во всем мире. Вместе с раком ободочной кишки, рак прямой кишки является третьей по частоте злокачественной опухолью в мире после рака легкого и молочной железы. На долю колоректального рака приходится более 9 % всех случаев онкологической заболеваемости. Распространенность рака прямой кишки среди мужчин и женщин примерно одинакова (9 % всех случаев рака у мужчин и 10 % у женщин). В России рак прямой кишки находится на третьем месте в структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями органов желудочно-кишечного тракта и на седьмом в общей структуре онкологической заболеваемости. Средний возраст больных раком прямой кишки в РФ в течение 5 лет составил 66,7 лет. Мужчины заболевают раком прямой кишки в 1,5 раза чаще, чем женщины.

Анатомия

Для достижения хорошего результата в рентгенэндоваскулярных вмешательствах необходимо знание нормального кровоснабжения органов. Нижняя брыжеечная артерия отходит от левой поверхности брюшной аорты на уровне третьего поясничного позвонка (L3), на 3–4 см выше бифуркации аорты. Нижняя брыжеечная артерия отдаёт следующие ветви: левую ободочно-кишечную артерию, направляется к левому ободочному углу и нисходящей ободочной кишке; сигмовидные артерии, кровоснабжают сигмовидную кишку; верхнюю



Рис. 1. Селективная ангиография нижней брыжеечной артерии

прямокишечную артерию, которая направляется к верхней части и кровоснабжающая верхне ампулярный отдел прямой кишки.

Лечение

При определении тактики лечения учитывается распространенность опухолевого процесса. При локализованных стадиях наиболее часто выполняются эндоскопические операции и органосохраняющие операции. При распространенном процессе первым этапом проводится химиолучевое лечение с последующим выполнением операции и проведением адъювантной химиотерапии в послеоперационном периоде.

Хирургическое вмешательство является ключевым этапом в стандартном лечении, и основной целью предоперационного лечения является создание хороших предпосылок для радикальной операции. Таким образом, проведение неoadъювантной химиолучевой терапии, по сравнению с прямым хирургическим вмешательством, были продемонстрированы преимущества неoadъювантной химиолучевой терапии в качестве предоперационного лечения. Это способствует уменьшению объема опухоли и увеличению частоты резекции R0, что улучшает послеоперационную выживаемость [4]. Что касается химиотерапии, то ее низкая местная концентрация препарата и высокая системная токсичность могут привести к тяжелой системной недостаточности без ремиссии опухоли. Кроме того, поскольку не все пациенты чувствительны к выбранным препаратам, после такой длительной подготовки (6 месяцев, рекомендованных руководящими принципами NCCN) может произойти прогрессирование заболевания или даже отдаленные метастазы. С развитием интервенционной медицины внутриартериальная химиотерапия стала применяться при лечении многих злокачественных опухолей и достигла многообещающих результатов. Например, в качестве рутинного подхода при распространенной первичной гепатоцеллюлярной карциноме (ГЦК) трансартериальная химиоэмболизация (ТАСЕ) может значительно уменьшить объем опухоли и обеспечить удовлетворительные хирургические условия и прогноз. Основываясь на успешном опыте лечения ГЦК, мы разработали это интервенционное лечение для данного случая.

Техника

Вначале выполняется пункция бедренной артерии по методике Сельдингера. Осуществляется катетеризация устья нижней брыжеечной артерии с помощью мягкого гидрофильного проводника и диагностического катетера Mammaria. Далее выполняется обзорная селективная ангиография нижней брыжеечной артерии для определения локализации опухоли и сосудистой

анатомии. После выполняется суперселективная катетеризация ветвей, кровоснабжающих опухоль, с помощью микрокатетера и производится внутриартериальная суперселективная химиоинфузия Оксалиплатина в расчетной дозе 85 мг/м² в ветви, кровоснабжающие опухоль, в течение 45 минут. После завершения инфузии производится финальная ангиография и удаление инструментария из сосудистого русла. Гемостаз места пункции осуществляется с помощью мануальной компрессии и наложения давящей повязки на 24 часа.

Клиническое наблюдение

Пациент К., 70 лет, с диагнозом: Рак верхнеампулярного отдела прямой кишки сT3N2aM0, IIIB стадия. По МСКТ: МР-признаки опухоли верхнеампулярного отдела и ректосигмоидного перехода без распространения за стенку с поражением регионарных лимфатических узлов (MPT стадия T3N2aMx, EMVI+, CRM-) [5].

Первым этапом выполнено 2 курса системной химиотерапии по схеме FOLFOX.

Далее проведена ангиография нижней брыжеечной артерии с оценкой кровоснабжения и локализации опухоли и проведено 2 курса внутриартериальной химиоинфузии Оксалиплатина в расчетной дозе 170 мг в течение 45 минут.

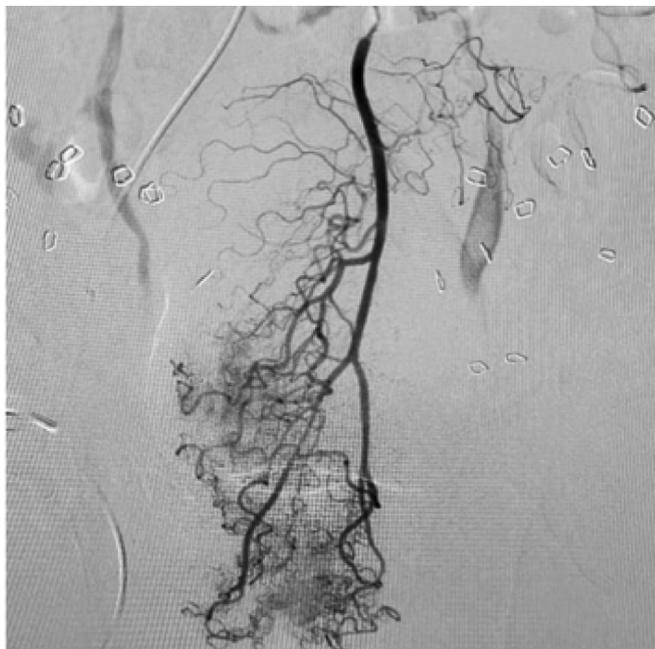


Рис. 2. Ангиография нижней брыжеечной артерии и ее ветвей, кровоснабжающих опухоль до внутриартериального введения химиопрепарата

Осложнений в интра- и послеоперационном периоде не отмечено.



Рис. 3. Ангиография нижней брыжеечной артерии и ее ветвей, кровоснабжающих опухоль после 2 курса внутриартериального введения химиопрепарата

После пациенту было проведено контрольное КТ — положительная динамика в виде уменьшения выраженности изменений в прямой кишке, регресса ранее выявленных тазовых лимфоузлов. Последним этапом выполнена хирургическая операция в объеме передней резекции прямой кишки с лимфаденэктомией D2. Послеоперационный период протекал без особенностей. Пациент выписан из стационара на 7 сутки в удовлетворительном состоянии. По результатам патологоанатомического исследования интраоперационного препарата — колоректальная аденокарцинома прямой кишки с умеренно выраженным регрессом опухоли на фоне проводимого лечения — III степень регрессии опухоли (TRG3 по Mandard).

Заключение

Внутриартериальная химиоинфузия безопасна и обладает значительной способностью уничтожать опухолевые клетки, уменьшать объем опухолевой ткани как в первичной опухоли, так и в пораженных лимфатических узлах, создавая тем самым хорошие условия для операции.

Таким образом, вышеуказанные преимущества могут иметь потенциальную ценность для улучшения прогноза при лечении местно-распространенного рака прямой кишки.

В нашем клиническом примере мы постарались продемонстрировать безопасность метода и его эффективность в сочетании с хорошей переносимостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kimura H, Shima Y, Kinoshita S, et al. Successful resection of locally advanced rectal carcinoma combined with preoperative chemoradiation. *Hepatogastroenterology* 2003;50:1393-5.
2. Bini R, Comelli S, Leli R, et al. A novel approach to inoperable or recurrent rectal cancer by chemoembolization: A new arrow in our quiver? *Oncotarget* 2016;7:45275-82.
3. Yang B, Shan J, Feng Y, et al. Transcatheter rectal arterial chemoembolization with oxaliplatin plus S-1 concurrent chemoradiotherapy can improve the pathological remission rate in locally advanced rectal cancer: a comparative study. *Radiat Oncol* 2020;15:94.
4. Huang W, Wu J, Liu G, et al. Chemoradiotherapy with Concurrent Regional Arterial Chemotherapy for Locally Bulky Unresectable Rectal Cancer: A Case Series. *Oncol Res Treat* 2019;42:678-83.
5. Tayyab M, Razack A, Sharma A, et al. Correlation of rectal tumor volumes with oncological outcomes for low rectal cancers: does tumor size matter? *Surg Today* 2015;45:826-33.

© Загоруйко Алексей Иванович (alexrus80@mail.ru); Черняев Михаил Викторович; Козлов Денис Владимирович (kozlovden@mail.ru);
Рыков Станислав Павлович (stanislas.rykov@yandex.ru); Розыева Махри (mehrirozyeva64@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ КОРНЯ АОРТЫ ПО МЕТОДИКЕ DAVID ПРИ РАЗЛИЧНЫХ АНАТОМИЧЕСКИХ ВАРИАНТАХ АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА

RESULTS OF AORTIC ROOT RECONSTRUCTION BY THE DAVID METOD FOR VARIOUS ANATOMICAL VARIANTS OF THE AORTIC VALVE

**R. Komarov
M. Lenkovets**

Summary. This article presents the results of aortic root reconstruction with different anatomy of the aortic valve. Data on the frequency of complications after reconstructive interventions on the aortic root are provided depending on the anatomy and nature of the aortic valve lesion. The paper presents the advantages of using valve-preserving procedures on intact aortic valve cusps in combination with aortic root aneurysm and moderate aortic regurgitation, which prevented the development of postoperative complications in most patients. This contributed to an increase in the duration and improvement of the quality of life of patients.

Keywords: aortic root aneurysm, valve-preserving surgery, David technique, aortic valve insufficiency, root dysfunction.

Комаров Роман Николаевич

Доктор медицинских наук., профессор,
ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова
Минздрава России (Сеченовский Университет)
Komarovroman@rambler.ru

Ленковец Марина

Соискатель, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова
Минздрава России (Сеченовский Университет)
mvl-login@bk.ru

Аннотация. В данной статье представлены результаты реконструкции корня аорты при различной анатомии аортального клапана. Приводятся данные о частоте развития осложнений после реконструктивных вмешательств на корне аорты в зависимости от анатомии и характера поражения аортального клапана. В работе представлены преимущества применения клапаносохраняющих процедур на интактных створках аортального клапана в сочетании с аневризмой корня аорты и аортальной регургитацией средней степени, что позволило предотвратить развитие послеоперационных осложнений у большинства пациентов. Это способствовало увеличению продолжительности и улучшению качества жизни пациентов.

Ключевые слова: аневризма корня аорты, клапаносохраняющая операция, методика David, недостаточность аортального клапана, дисфункция корня.

Введение

Кардиоаортальная хирургия один из сложных и diskutabelных разделов кардиохирургии. Несмотря на длительную историю, насчитывающую более 100 лет, до настоящего времени проблема хирургического лечения и протезирования корня аорты и аортального клапана еще крайне далека от своего решения [13,8,3,11,1,12,4]. Развитие аневризмы корня аорты намного чаще встречается у пациентов с двустворчатым аортальным клапаном. Часто вследствие прогрессирующей дилатации корня аорты развивается недостаточность аортального клапана [8,11,5].

Основным методом лечения патологии корня аорты, сочетающейся с тяжелой аортальной недостаточностью, является процедура Бенталла — Де Боно [6,3,13,9]. Преимуществом этого вмешательства является отработанность методики [10], однако есть нежелательные побочные эффекты для пациентов, связанные с приемом варфарина, нарушением качества жизни, а также повышенным риском кровотечений или тромбозов [14,13]. Наиболее часто применяемой клапаносохраняющей процедурой является классическая операция Дэвида. Методика применима у пациентов с незначительным

поражением створок аортального клапана и 2–3 степени аортальной регургитации. Возможно применение процедуры Дэвида в комбинации с пластикой аортального клапана [2,7]. В современной кардиохирургии нет четких показаний к применению клапаносохраняющих процедур, — объем оперативного лечения определяется интраоперационно после сопоставления данных чреспищеводной эхокардиографии и визуальной оценки состояния аортального клапана. При выборе вида и объема оперативного лечения необходимо тщательно взвешивать все преимущества реконструктивного подхода у конкретного пациента и риски операции, в том числе связанные с пролонгированным оперативным вмешательством и дисфункцией клапана в раннем послеоперационном периоде [1,15,10,5].

Материалы и методы

Произведен ретроспективный и проспективный анализ течения периоперационного периода 139 пациентов, с кодами диагнозов по МКБ-10: I71.2 — аневризма грудной аорты без упоминания о разрыве, I35.1 — ревматическая аортальная недостаточность, I35.8 — другие поражения аортального клапана. Сбор и анализ данных проводился с 2014 по 2023 годы на базе кафедры

факультетской хирургии №1 ИКМ им. Склифосовского Университетской клинической больницы №1. Протезирование корня аорты клапаносодержащим кондуитом выполнено в 41,7 % случаев (n=58), клапаносохраняющие операции выполнены в 58,3 % случаев (n=81). 34 пациентам I группы выполнена операция Дэвида при измененных створках (Uncommon David), 47 пациентам II группы выполнена операция Дэвида при сохраненных створках (David), III — контрольная группа Bentall — пациенты, перенесшие операцию Бентала (Bentall). Исследование проведено в соответствии с декларацией, принятой в Хельсинки в 1975 г. и одобрено Локальным этическим комитетом. Пациентами дано письменное добровольное согласие на участие в исследовании.

Произведена оценка следующих параметров: госпитальная летальность, кумулятивная выживаемость, свобода от тяжелой аортальной регургитации, кумулятивная свобода от неблагоприятных кардиоваскулярных осложнений в срок 46+23 (9 — 96 мес. п/о периода) операционная летальность.

Критерии включения в исследование: в первую группу исследования включены первично оперированные пациенты с нестандартной анатомией аортального клапана, при этом допускалось наличие на створках умеренного фиброза, единичных перфораций, включения кальция, аортальная регургитация до 2,5 степени с аневризматическим расширением корня и/или восходящей аорты; во вторую группу исследования включены первично оперированные пациенты с нормальной анатомией аортального клапана, умеренной степенью аортальной регургитации и/или аневризматическим расширением корня и восходящей аорты; третья группа исследования — контрольная, в неё вошли первично оперированные пациенты с различными вариантами анатомии аортального клапана, тяжелой регургитацией и различной степенью поражения створок в комбинации с аневризматическим расширением корня аорты и/или восходящей аорты.

Критерии исключения из исследования: онкопациенты с сопутствующей кардиоваскулярной патологией, требующей сочетанного оперативного лечения; тяжелая коморбидная патология в стадии декомпенсации; экстренные кардиохирургические вмешательства, связанные с жизнеугрожающими состояниями — разрыв, острое расслоение аорты; для пациентов с двустворчатым аортальным клапаном противопоказанием к реконструктивным операциям являлись: предоперационная ориентация комиссур менее 160 градусов, диаметр аортального кольца более 28 мм, эффективная высота коаптации менее 9 мм.

Помимо стандартного дооперационного исследования, прописанного в гайдлайне 2014 ACC/AHA выполня-

лись: инструментальные исследования сердечно-сосудистой системы:

1. трансторакальная эхокардиография выполнялась на аппарате GE VividS70 (GE Healthcare, США),
2. электрокардиография выполнялась для предоперационной и послеоперационной оценки с использованием аппарата «Sicard-440» от фирмы Siemens (Германия), при выявленных нарушениях ритма/проводимости было показано проведение холтеровского мониторирования при помощи системы ХОЛТЕР-ДМС — МЭКГ-НС-03 (Россия),
3. дуплексное сканирование брахиоцефальных артерий, артерий нижних конечностей, вен нижних конечностей,
4. мультиспиральная компьютерная томография брахиоцефальных артерий, аорты и нижних конечностей выполнялась в случае выявления гемодинамических значимых стенозов при проведении УЗДС, — выполнялось на сканере Aquilion One (Toshiba Medical Systems, Япония),
5. мультиспиральная компьютерная томография коронарных артерий показана пациентам младше 45 лет, без ИБС в анамнезе,
6. коронарная ангиография показана пациентам с клинической картиной ИБС либо всем пациентам старше 45 лет, — проводилась на аппаратах «Angioscop D» от Siemens (Германия) и «Integris — 3000» от Phillips (Голландия).

Интраоперационное обследование: чреспищеводная эхокардиография (ЧП ЭХО-КГ) с использованием специализированного датчика Philips Ultrasound X8-2t для режима Live 3D (США), до этапа ИК и после наложения зажима.

В раннем послеоперационном периоде пациентам проводилось: контроль лабораторных исследований, перевязки, контроль отделяемого по дренажам, контроль оксиметрии, контроль диуреза, АД, ЧСС, ритма, проведение РФ ОГК, УЗИ плевральных синусов, трансторакальной эхокардиографии, ЭКГ.

В контрольные сроки (в 1, 6, 12 мес. послеоперационного периода) пациенты приглашались лично на осмотр с результатами лабораторных исследований, — ЭКГ и эхокардиографическое исследование проводилось врачами функциональной диагностики УКБ1.

Сопоставимость групп по исходным клиническим данным

По исходным клиническим данным группы сопоставимы между собой, однако показатель ИМТ достоверно ниже в группе Bentall ($p < 0,05$), что подробно представлено на Рисунке 1. Группы так же сопоставимы по сопутствующей коморбидной патологии, исходным данным эхокардиографического исследования.

Результаты Оценка сопоставимости групп по исходным клиническим данным

Параметр	Группа 1 Uncom. David (n=34)	Группа 2 David (n=47)	Группа 3 Bentall (n=58)	p-value (значение)
Возраст, лет M+-SD	51,18+-14,87	52,74+-13,59	52,72+-13,67	0,913
Гендерное распределение: м/ж, n(%)	29(85,3)/5(14,7)	39(83)/8(17)	53(91,4)/5(8,6)	0,417
ИМТ, M+-SD	26,6+-7,91	24,87+-9,57	20,02+-12,54	p=0,009*, p1-2=0,596, p1-3=0,006*, p2-3=0,017*
BSA, м2 M+-SD	3,62+-6,65	4,43+-7,04	8,86+-11,14	0,135
NYHA класс III, n(%)	3(8,8)	1(2,1)	2(3,4)	0,462

Рис. 1. Сопоставимость групп по исходным клиническим данным, показатель ИМТ достоверно ниже в группе Bentall (p < 0,05)

Результаты

Интраоперационные данные по вариативной анатомии аортального клапана и характеру поражения: Фиброзирование, кальциноз створок аортального клапана превалировал в группе Bentall — 56,9 % (p < 0,05), бicuspidальный аортальный клапан чаще встречался в группе Valve repair + David — 79,4 %. Анатомические варианты симметричного бicuspidального клапана (180 — 1800) lat Type 0 (0 raphe, true BAV по H.H. Sivers) — 20,6 % в группе Valve repair + David, в группе Bentall — 1,7 % и AP Type 0 (0 raphe, true BAV по H.H. Sivers) — 11,8 % в груп-

пе Valve repair + David, в группе Bentall — 1,7 % (p < 0,05). Анатомические варианты асимметричного бicuspidального клапана (сращение створок) Type 1a (1 raphe по H.H. Sivers) — 25,6 % в группе Valve repair + David, в группе Bentall — 3,4 %, Type 1b (1 raphe по H.H. Sivers) — 17,6 % в группе Valve repair + David, в группе Bentall — 6,9 %, Type 1c (1 raphe по H.H. Sivers) — 23,5 % в группе Valve repair + David, в группе Bentall — 10,3 % (p < 0,05). Рисунок 2 отображает распространенность вариативной анатомии аортального клапана в исследуемой популяции n=139.

Результаты интраоперационной оценки анатомии бicuspidального аортального клапана, с применением классификации Sivers

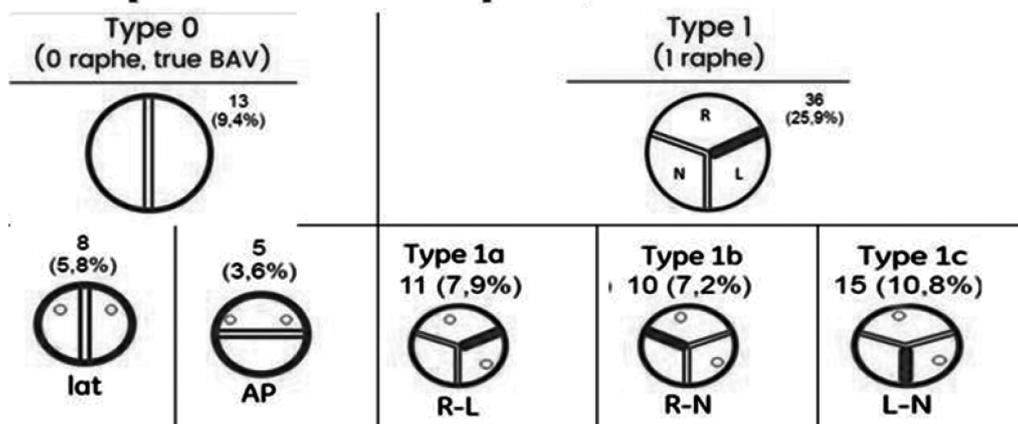


Рис. 2. Интраоперационная оценка распространенности в популяции (n=139) бicuspidального аортального клапана по классификации H.H. Sivers

Отчет по госпитальной летальности

Госпитальная летальность составила 5 %, что составило 7 больных из общей популяции n = 139. Госпитальная летальность между группами представлена на Рисунке 1. В группе Valve repair + David умерло 5,9 % больных, в группе Bentall — 5,2 %, а в группе David умерло 4,3 % больных. Операция David наиболее безопасный метод лечения.

Детально анализ госпитальной летальности представлен в Таблице 1.

Таблица 1.

Госпитальная летальность в группах сравнения

Показатели	Valve repair + David		David procedure		Bentall procedure		p-value
	n	%	n	%	n	%	
Летальный исход в позднем п/о периоде	1	2,9	2	4,3	3	5,2	p>0,05
ТЭЛА	0	0,0	0	0,0	1	1,7	p>0,05
Острый, рецидивирующий или повторный трансмуральный ИМ	0	0,0	1	2,1	1	1,7	p>0,05
Острая сердечная (левожелудочковая) недостаточность	0	0,0	1	2,1	1	3,4	p>0,05

Операционная летальность (1 сутки послеоперационного периода): у одного пациента возникло периоперационное повреждение миокарда и инфаркт миокарда в группе David, что и послужило причиной летального исхода. Еще у одного пациента группы Bentall возникла острая сердечно-сосудистая недостаточность.

Ранняя послеоперационная летальность (2 сутки — 2 недели послеоперационного периода): острое почечное повреждение возникло у пациента группы David на вторые сутки послеоперационного периода. Острая сердечно-сосудистая недостаточность возникла у пациента на третьи сутки в группе Valve Repair + David. Острое повреждение головного мозга, приведшее к летальности пациента на третьи сутки послеоперационного периода, возникло в группе Bentall и на пятые сутки в группе Valve Repair + David. На 7-е сутки у пациента возникли летальные осложнения COVID-19 в группе Bentall.

Свобода от реопераций по Каплан-Мейеру у больных в группе Valve Repair+David к 5-му году послеоперационного периода составила 91,2 %, в группе David — 97,8 %. В группе III повторных операций не было.

Общая летальность в отдаленном периоде составила 4,3 % (6 человек). В I группе умер 1 больной (2,9 %), через 3 года после операции — причина смерти неизвестна. Выживаемость к 5-му году составила по Каплан-Мейеру составила 97,1 %.

Во II группе умерло 2 больных (4,3 %): от острого трансмурального инфаркта — 1 пациент (на 3-м году послеоперационного периода соответственно) и еще один пациент от острой сердечной недостаточности на 2 году послеоперационного периода). Выживаемость к 5-му году составила по Каплан-Мейеру составила 95,7 %.

В III группе умерло 3 больных (5,2 %): у одного человека причиной смерти послужила тромбоэмболия легочной артерии (ТЭЛА) на 3 году послеоперационного периода, у одного возник острый рецидивирующий трансмуральный инфаркт на 4-м году послеоперационного периода еще у одного пациента возникла острая сердечная недостаточность к 3-му году послеоперационного периода. Выживаемость к 5-му году составила по Каплан-Мейеру составила 94,8 %.

Кумулятивная выживаемость в срок 46+-23 месяцев (9–96 месяцев послеоперационного периода)

Свобода от реопераций по Каплан-Мейеру у больных в группе Valve Repair + David к пятому году послеоперационного периода составила 91,2 %, в группе David — 97,8 %. В группе III повторных операций не было.

Общая летальность в отдаленном периоде составила 4,3 % (6 человек). В I группе Valve Repair + David умер 1 больной (2,9 %), через три года после операции, — причина смерти неизвестна. Выживаемость к пятому году по Каплан-Мейеру составила 97,1 %.

Во II группе умерло 2-е пациентов (4,3 %): от острого трансмурального инфаркта — 1 пациент (на третьем году послеоперационного периода соответственно) и еще один пациент от острой сердечной недостаточности на втором году послеоперационного периода). Выживаемость к пятому году по Каплан-Мейеру составила 95,7 %.

В III группе умерло 3-е больных (5,2 %): у одного человека причиной смерти послужила тромбоэмболия легочной артерии (ТЭЛА) на третьем году послеоперационного периода, у одного возник острый рецидивирующий трансмуральный инфаркт на четвертом году послеоперационного периода еще у одного пациента возникла острая сердечная недостаточность к третьему году послеоперационного периода. Выживаемость к пятому году составила по Каплан-Мейеру составила 94,8 %. Построение графика вероятности выживания

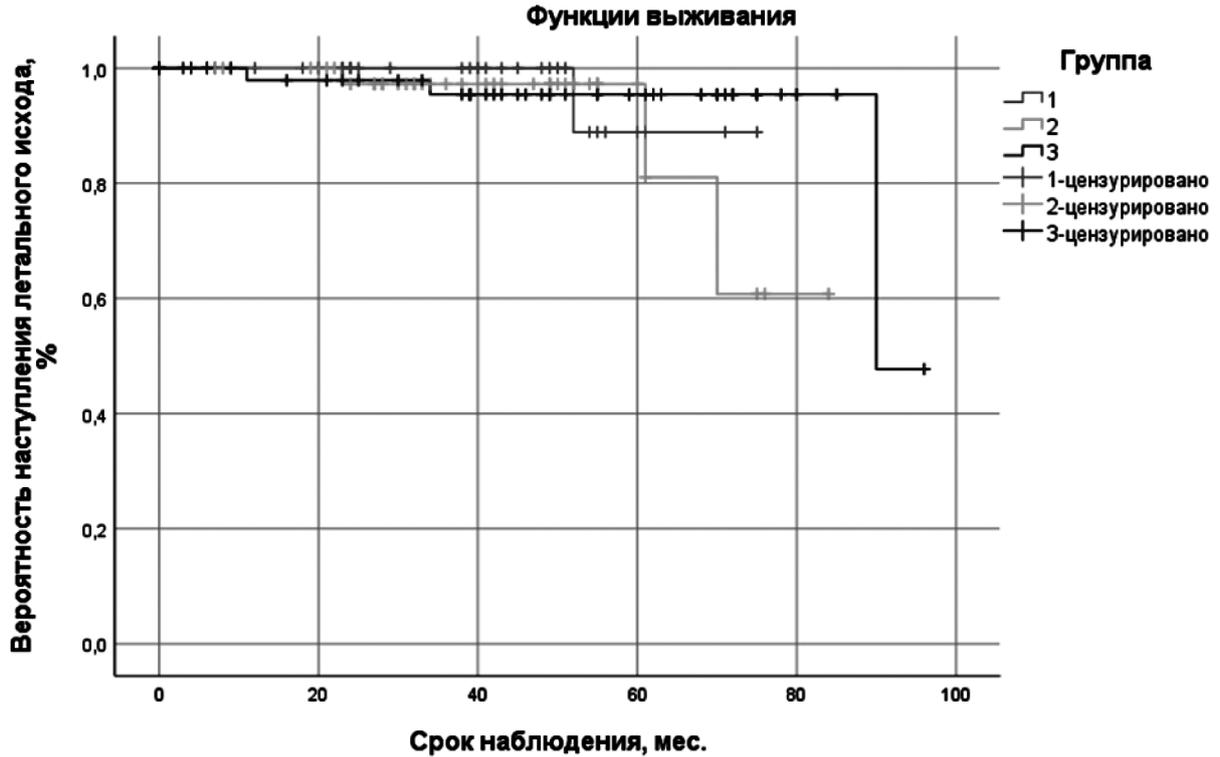


Рис. 3. Построение графика вероятности выживания как функция времени (метод Каплан-Мейера)

как функция времени (метод Каплан-Мейера) представлено на Рисунке 3.

Свобода от тяжелой аортальной регургитации (более 1,5 ст.) к 1-му году и в срок 46+-23 (9-96 месяцев послеоперационного периода)

Лучшая свобода от аортальной регургитации (более 1,5 степени) к первому и пятому году наблюдения в группе Bentall — 98,3 % и 96,6 % соответственно. Худшая — в группе после реконструктивных аортальных вмешательств, — 82,4 % к первому году и 55,9 % к пятому году наблюдения. В группе David свобода от аортальной ре-

гургитации 97,9 % к первому году наблюдения и 95,7 % к пятому году наблюдения ($p < 0,05$). Рисунок 4 и 5 — графическое изображение свободы от аортальной регургитации к 1-му году наблюдения и в срок 46+-23 (9-96 месяцев послеоперационного периода).

Кумулятивная свобода от неблагоприятных сердечно-сосудистых осложнений в срок 46+-23 (9-96 месяцев послеоперационного периода)

В срок 46-96 месяцев отмечены следующие нефатальные сердечно-сосудистые события: у 6-ти пациен-

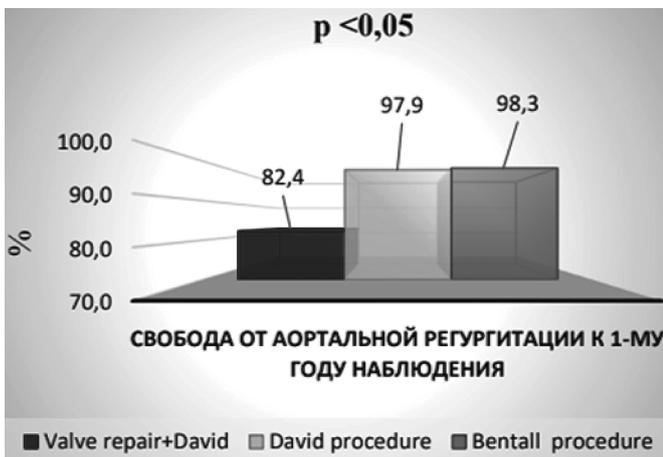


Рис. 4. Сравнение свободы от аортальной регургитации между группами к 1-му году наблюдения

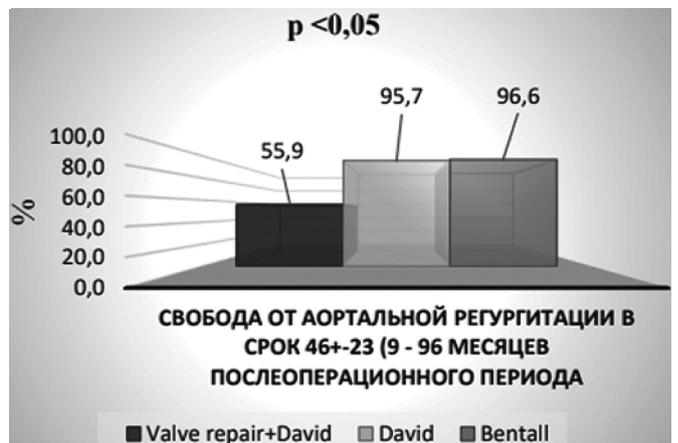


Рис. 5. Сравнение свободы от аортальной регургитации между группами в срок 46+-23 (9-96 месяцев послеоперационного периода)

Таблица 2.
Неблагоприятные сердечно-сосудистые события в срок 46+-23 (9-96 месяцев послеоперационного периода)

Показатели	Valve repair+David		David procedure		Bentall procedure		p-value	
	n	%	n	%	n	%		
Эндокардит в срок 46+-23 мес.	1	0	0,0	0	0,0	1	1,7	0,465
Инфаркт миокарда в срок 46+-23 мес.	1	0	0,0	0	0,0	6	10,3	0,007
Хроническая сердечная недостаточность (НУНА III-IV) в срок 46+-23 мес.	1	0	0,0	1	2,1	7	12,1	0,014
Установка кардиостимулятора в срок 46+-23 мес.	1	1	2,9	1	2,1	0	0,0	0,5
Острое нарушение мозгового кровообращения в срок 46+-23 мес.	1	0	0,0	1	2,1	4	6,9	0,142
Повторная госпитализация в кардиологический стационар до срока 46+-23 мес.	1	3	8,8	3	6,4	4	6,9	0,927

тов — инфаркт миокарда, острое нарушение мозгового кровообращения у 4-х пациентов, прогрессирование хронической сердечной недостаточности у 7-ми пациентов, эндокардит у одного пациента в группе Bentall. Свобода от неблагоприятных сердечно-сосудистых событий по методу Каплан-Мейера в группе Bentall к 5-му году наблюдения составила 76,4 %. В группе после реконструктивных аортальных вмешательств в срок 46-96 мес. наблюдались следующие неблагоприятные сердечно-сосудистые события: жизнеугрожающие нарушения ритма, потребовавшие установки электрокардиостимулятора у 1 пациента, повторная госпитализация в кардиологический стационар для дообследования и лечения в связи с прогрессирующим ухудшением состояния пациента у 3 человек. В группе David у одного человека жизнеугрожающие нарушения ритма, потребовавшие установки электрокардиостимулятора, прогрессирование хронической сердечной недостаточности у одного пациента, еще у одного пациента нарушение мозгового кровообращения, троим пациентам потребовалась повторная госпитализация в кардиологический стационар Каплан-Мейер для свободы от основных повторных сердечно-сосудистых (follow-up повторной операции/смерти, инфаркта миокарда, острого нарушения мозгового кровообращения) в группах David и Valve Repair+David к 5-му году наблюдения — 88,8 %. Подробный отчет о частоте неблагоприятных сердечно-сосудистых событий в Таблице 2. Оценка Каплана-Мейера (непараметрический метод) с построением графика вероятности реопе-

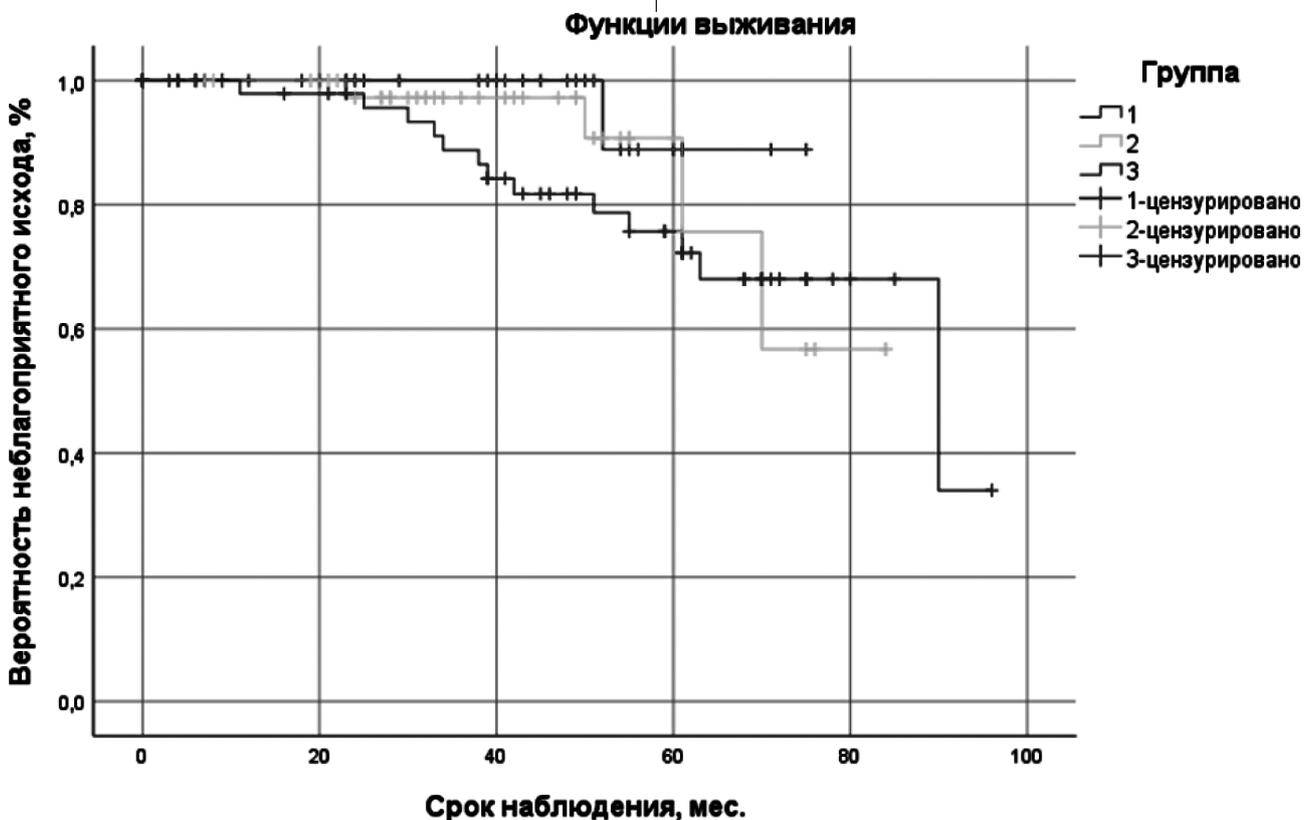


Рис. 6. График вероятности реопераций и неблагоприятных сердечно-сосудистых событий, как функция времени (метод Каплан — Мейера)

раций и неблагоприятных сердечно-сосудистых событий, как функция времени представлена на Рисунке 6.

Обсуждение

В работе представлены преимущества применения клапаносохраняющих процедур при интактных створках аортального клапана в сочетании с аневризмой корня аорты и аортальной регургитацией средней степени, что позволило предотвратить развитие послеоперационных осложнений у большинства пациентов.

Операция Бенталла — Де Боно, — протезирование корня и восходящей части аорты клапаносодержащим кондуитом с последующей имплантацией устьев венечных артерий в бок кондуита, — общемировой стандарт оперативного лечения аневризмы корня и восходящей аорты [9,13]. По результатам общемировых метаанализов после процедуры Бенталла — Де Боно показан высокий процент поздней летальности, геморрагических и тромбоэмболических осложнений [1,4,6,12]. В нашем исследовании в группе Bentall выживаемость к 5-му году составила по Каплан-Мейеру 94,8 %, реопераций не отмечено.

С нашей точки зрения операция Бенталла — Де Боно показана более возрастным пациентам с аневризмой корня и/или восходящей аорты, грубым поражением створок аортального клапана, а также с коморбидной патологией.

Основным преимуществом клапаносохраняющей процедуры David является возможность исключения осложнений, связанных с приемом варфарина и улучшением качества жизни пациентов [7,15], что подтверждается результатами многочисленных метаанализов. В нашем исследовании выживаемость к 5-му году наблюдения составила по Каплан-Мейеру в группе David 95,7 %. Свобода от реопераций по Каплан-Мейеру к 5-му году послеоперационного периода составила в группе David 97,8 %.

Применение клапаносохраняющих процедур при интактных створках аортального клапана в сочетании с аневризмой корня аорты и аортальной регургитацией средней степени, позволило предотвратить развитие послеоперационных осложнений у большинства пациентов. Это способствовало увеличению продолжительности и улучшению качества их жизни.

Заключение

При аневризме корня аорты в сочетании с тяжелой аортальной регургитацией и измененными створками аортального клапана показана процедура Bentall. При аневризме восходящей аорты с интактными створками аортального клапана и аортальной регургитацией до 2ст. показана процедура David. Клапаносохраняющие операции при ассиметричной анатомии аортального клапана показывают неудовлетворительные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алгоритм выбора хирургической коррекции патологии корня аорты. / Р.Н. Комаров, В.К. Ногинов, С.В. Чернявский, ... М. Ленковец [и др.] // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. — 2023. — Т. 16. — № 1. — С. 73–81.
2. Выбор метода пластики аортального клапана в хирургии корня и восходящей аорты / Э.Р. Чарчан, Ю.В. Белов, А.А. Скворцов [и др.] // Патология кровообращения и кардиохирургия. — 2016. — Т. 20. — № 2. — С. 26–34.
3. Исмаилбаев, А.М. Хирургия корня аорты с использованием аутологических материалов и клапан сохраняющих методик: дис. ... докт. мед. наук: 3.1.15 / Исмаилбаев Алишер Маккамджанович; науч. рук. Р.Н. Комаров; федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет). — Москва, 2022. — 209 с.
4. Исторические аспекты протезирования аортального клапана аутоперикардом: всё ли мы знаем? / Р.Н. Комаров, М.И. Ткачёв, ... М. Ленковец [и др.] // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. — 2023. — Т. 12. — № 1. — С. 107–116.
5. Клинические рекомендации по кардиологии и коморбидным болезням. Серия «Библиотека врача-специалиста» / А.Н. Сумин, Е.В. Корок, Ф.И. Белялов; под редакцией Ф. И. Белялова. — 11-е изд., перераб. и доп. — Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. — 307 с. — ISBN 978-5-9704-6040-5. — Текст непосредственный.
6. Ленковец, М. Результаты реконструкции корня аорты по методике David при различных анатомических вариантах недостаточности аортального клапана / М. Ленковец // Журнал «Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики». Серия Естественные и Технические Науки. — 2022. — № 11. — С. 199–206.
7. Модифицированная процедура Росса в хирургии аневризм корня аорты / А.М. Исмаилбаев, Р.Н. Комаров, ... М. Ленковец [и др.] // Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН «XXV Ежегодная Сессия НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева с Всероссийской конференцией молодых ученых». — 2022. — Т. 23. — № 3(приложение). — С. 30
8. Покровский, А.В. Заболевания аорты и ее ветвей. / А.В. Покровский; — Москва: Медицина, 1979. — 326 с.: ил.; — Текст: непосредственный.
9. Процедура БиоБенталл и аутологичные материалы в хирургии корня аорты / Р.Н. Комаров, А.М. Исмаилбаев, С.В. Чернявский, ... М.В. Ленковец [и др.] // Патология кровообращения и кардиохирургия. — 2022. — Т. 26. — № 3. — С. 9–20.
10. Среднесрочные результаты процедуры «Нетипичный David» — реимплантация аортального клапана, дополненная пластикой створок / А.М. Исмаилбаев, Р.Н. Комаров, ... М. Ленковец [и др.] // Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН «XXV Ежегодная Сессия НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева с Всероссийской конференцией молодых ученых». — 2022. — Т. 23. — № 3(приложение). — С. 27

11. Тлисов, Б.М. Симметричная аутоперикардальная неокуспидизация аортального клапана: автореф. дис. . . . канд. мед. наук: 3.1.15 / Тлисов Борис Магометович; Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет). — Москва, 2022. — 24 с.
12. Quality of Life Assessment of Aortic Valve Neocuspidization for Autologous Pericardium: A Systematic Review / R. Komarov, S. Badalyan, M. Lenkovets, [et al.] // J Res Med Dent Sci. — 2022. — Vol. 10. — № 7. — P. 43–49.
13. Ramlawi, B. Advanced in aortic root surgery / B. Ramlawi, L.J. Garcia-Morales // Methodist Debaquey Cardiovasc J. — 2011. — Vol. 7. — № 3. — P. 48–52.
14. Surgery for Diseases of the Aortic Root / R.G. Cohen, R.S. Elsayed, M.E. Bowdish // Cardiol Clin. — 2017. — Vol. 35. — № 3. — P. 321–329.
15. Which Aortic Valve Can Be Surgically Reconstructed? / K.B. Abeln, C. Giebels, T. Ehrlich, [et al.] // Curr Cardiol Rep. — 2021. — Vol. 23. — № 8: 108.

© Комаров Роман Николаевич (Komarovroman@rambler.ru); Ленковец Марина (mvl-login@bk.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ КОРНЯ АОРТЫ ПО МЕТОДИКЕ DAVID ПРИ АССИМЕТРИЧНОЙ АНАТОМИИ БИКУСПИДАЛЬНОГО АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА

RESULTS OF AORTIC ROOT RECONSTRUCTION BY THE DAVID METHOD FOR ASYMMETRIC ANATOMY OF THE AORTIC VALVE

R. Komarov
M. Lenkovets

Summary. This article presents the results of aortic root reconstruction in case of asymmetric bicuspid valve anatomy. The data on the frequency of complications after reconstructive interventions on the aortic root are provided depending on the nature of the aortic valve lesion and the selected volume of reconstructive intervention. The results of valve-preserving operations in case of asymmetric aortic valve anatomy in this study show unsatisfactory results. The David procedure in case of asymmetric bicuspid aortic valve is applicable according to strict indications.

Keywords: aortic root aneurysm, valve-preserving surgery, David technique, aortic valve insufficiency, root dysfunction, asymmetric bicuspid aortic valve, autopericardial patch.

Комаров Роман Николаевич

Доктор медицинских наук., профессор,
ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова
Минздрава России (Сеченовский Университет)
Komarovroman@rambler.ru

Ленковец Марина

Соискатель, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова
Минздрава России (Сеченовский Университет)
mvl-login@bk.ru

Аннотация. В данной статье представлены результаты реконструкции корня аорты при ассиметричной анатомии бикуспидального клапана. Приводятся данные о частоте развития осложнений после реконструктивных вмешательств на корне аорты в зависимости от характера поражения аортального клапана и выбранного объема реконструктивного вмешательства. Результаты клапаносохраняющих операций при ассиметричной анатомии аортального клапана в данном исследовании показывают неудовлетворительные результаты. Процедура David при ассиметричном бикуспидальном аортальном клапане применима по строгим показаниям.

Ключевые слова: аневризма корня аорты, клапаносохраняющая операция, методика David, недостаточность аортального клапана, дисфункция корня, ассиметричный бикуспидальный аортальный клапан, аутоперикардальная заплатка.

Введение

Первой по настоящему полноценной клапаносохраняющей реконструкцией корня можно считать операцию, предложенную кардиохирургом T.E. David в 1989 году. В классическом варианте при операции Дэвида производят иссечение синусов Вальсальвы, замещение корня аорты и восходящего его отдела протезом с последующей реимплантацией в протез створок аортального клапана и устьев коронарных артерий. Основными преимуществами операции Дэвида можно считать сохранение максимально функционального клапан-аортального комплекса и достаточно низкий риск развития рецидивов аортальной недостаточности [1,5,2,8,6].

Следует отметить, что за прошедшее время было разработано несколько методик данной операции, которые обозначаются как David I-V и могут применяться при различных вариантах поражения корня аорты и аортального клапана [1,10,3,8,6].

Первые итоги операции Дэвида при двустворчатом аортальном клапане (ДАК) описаны в трудах G. El Khoury,

M. Boodhwani, L. de Kerchove и E. Navarra. В частности, доказана возможность выполнения реимплантации и пластики двустворчатого аортального клапана с отличными ближайшими и среднеотдаленными результатами [6,8,2]. Однако изучение и анализ среднеотдаленных и отдаленных результатов процедуры David при ассиметричном бикуспидальном аортальном клапане является очень актуальным вопросом в связи с недостаточным количеством проведенных исследований по данному вопросу, малым объемом выборки в имеющихся исследованиях и неоднозначных результатах исследований.

Материалы и методы

Произведен ретроспективный и проспективный анализ течения периоперационного периода 24 пациентов, с кодами диагнозов по МКБ-10: I71.2 — аневризма грудной аорты без упоминания о разрыве, I35.1 — неревматическая аортальная недостаточность, I35.8 — другие поражения аортального клапана. Сбор и анализ данных проводился с 2014 по 2023 годы на базе кафедры факультетской хирургии №1 ИКМ им. Склифосовского Университетской клинической больницы №1. Клапаносохраняющие операции выполнены в 100 % случаев (n=24).

1. Процедура David с резекцией межкомиссурального шва и последующим сшиванием дефекта выполнена 9-ти пациентам.
2. Процедура David, дополненная шейвингом, резекцией межкомиссурального шва и последующей пластикой аутоперикардиальной заплатой выполнена 12-ти пациентам.
3. Процедура David с пластикой аутоперикардиальной заплатой выполнена 3-м пациентам.

Исследование проведено в соответствии с декларацией, принятой в Хельсинки в 1975 г. и одобрено Локальным этическим комитетом. Пациентами дано письменное добровольное согласие на участие в исследовании.

Произведена оценка следующих параметров: операционная летальность, время ИК, ишемии миокарда, кумулятивная выживаемость в срок 46+-23 (9–96 мес. п/о периода, объем кровопотери, свобода от тяжелой аортальной регургитации (более 2 ст.) к 1-му году и в срок 46+-23 (9–96 мес. п/о периода), динамика изменений эхокардиографических показателей с 1 суток п/о периода до 46+-23 (9–96 мес. п/о периода), кумулятивная свобода от неблагоприятных кардиоваскулярных осложнений в срок 46+-23 (9–96 мес. п/о периода).

Критерии включения в исследование: первично оперированные пациенты с ассиметричной бикуспидальной анатомией аортального клапана, прооперированные в плановом порядке, — при этом допускалось наличие на створках умеренного фиброза, единичных перфораций, включения кальция, аортальная регургитация до 2,5 степени с аневризматическим расширением корня и/или восходящей аорты;

Критерии исключения из исследования: предоперационная ориентация комиссур менее 160 градусов, диаметр аортального кольца более 28 мм, эффективная высота коаптации менее 9 мм, тяжелая сопутствующая экстракардиальная патология.

Помимо стандартного дооперационного исследования, прописанного в гайдлайне 2014 АСС/АНА выполнялись: инструментальные исследования сердечно-сосудистой системы: экспертная трансторакальная эхокардиография (ТТ ЭХО-КГ), ЭКГ, ХМ-ЭКГ — по показаниям, ДС БЦА, артерий и вен н.к. МСКТ коронарных артерий показана пациентам младше 45 лет, без ИБС в анамнезе. КАГ показана пациентам с клинической картиной ИБС либо всем пациентам старше 45 лет.

Интраоперационное обследование: ЧП ЭХО-КГ с использованием специализированного датчика Philips Ultrasound X8-2t для режима Live 3D (США), до этапа ИК и после наложения зажима.

В раннем послеоперационном периоде пациентам проводилось: контроль лабораторных исследований, перевязки, контроль отделяемого по дренажам, контроль оксиметрии, контроль диуреза, АД, ЧСС, ритма, проведение РГ ОГК, УЗИ плевральных синусов, ТТ ЭХО-КГ, ЭКГ.

В контрольные сроки (в 1, 6, 12 мес. послеоперационного периода) пациенты приглашались лично на осмотр с результатами лабораторных исследований, — ЭКГ и ТТ ЭХО-КГ исследование проводилось врачами функциональной диагностики УКБ1.

Сопоставимость групп по исходным клиническим данным: По исходным клиническим данным группы сопоставимы между собой. Группы так же сопоставимы по сопутствующей коморбидной патологии, исходным данным эхокардиографического исследования.

Результаты

Реконструктивные вмешательства на аортальном клапане, выполняемые проф. Р.Н. Комаровым на базе кафедры сердечно-сосудистой хирургии УКБ №1 ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова в период с 2014 по 2022 гг.: сбивание кальция — 35,3 %, укорочение свободного края — 8,8 %, резекция межкомиссурального шва с сшиванием краев дефекта по длине — 32,4 %, пликация Аранциенциевого узелка — 23,5 %, пластика аутоперикардиальной заплатой 32,4 % [15,7].

Анатомические варианты ассиметричного бикуспидального клапана (сращение створок) в исследуемой популяции: Type 1a (1 raphe по Н.Н. Sivers) — 25,6 %, Type 1b (1 raphe по Н.Н. Sivers) — 17,6 %, Type 1c (1 raphe по Н.Н. Sivers) — 23,5 % ($p < 0,05$).

Особенности реконструкции двустворчатого клапана I типа по Н.Н. Sievers, — клапана с тремя комиссурами, ориентированными попарно под углом, отличным от 180 градусов, двумя сросшимися створками. Целью улучшения геометрии и подвижности створок может быть выполнена трикуспидизация клапана: рассекается сращение и выполняется ресуспензия воссозданной створки. При клапаносохраняющем протезировании корня аорты комиссуры ориентируют под углами 150–105–105. Подобная конфигурация створок АК обеспечивает оптимальный средний и пиковый градиент в отдаленном послеоперационном периоде [14,12].

Триангулярная резекция с последующим восстановлением целостности створки: чаще используется для коррекции пролапса, возникшего вследствие растяжения свободного края створки. Условия применения: сохранность комиссур и их нормальное функционирование.

Пластика аутоперикардиальной заплатой. Условия применения: перфорация створки, приведшая к пролапсу створки либо к выраженной аортальной регургитации. Допустимо использование техники при хроническом инфекционном клапанном эндокардите, когда перфорация створок возникает в области «брюшка створки» [9]. Особенности применения техники пластики створок заплатой из аутоперикарда, изображены на Рисунке 1: после подготовки листа аутоперикарда и 10-ти минутного отмачивании в 0,6 % растворе глутарового альдегида с последующим 10 мин. отмачиванием в физиологическом растворе. Заплату выкраивают соответственно форме и размеру дефекта, добавляя по краям 2 мм для наложения швов. Заплату фиксируют по краям отверстия узловыми швами монофиламентной нитью 5.0, завязывая узлы на аортальной поверхности створки. При наличии большого дефекта накладывают непрерывный обвивной шов без натяжения, чтобы избежать сосбаривания ткани [4]. Особенности реконструкции двустворчатого клапана I типа по Н.Н Sievers первым этапом производится трикуспидизация клапана, вторым этапом воссоздание комиссуры либо треугольника Henle с помощью заплаты из ауто- или ксеноперикарда на месте сращения створок [8].



Рис. 1. Схема устранения дефекта створки АК, из аутоперикарда вследствие эндокардита аортального клапана [12]

Результаты

Средний срок наблюдения составил $36,2 \pm 20,4$ месяца, — достоверной разницы по длительности наблюдения между группами не определялось ($p > 0,05$). По эхокардиографическим показателям в срок $36,2 \pm 20,4$ месяца достоверной разницы между группами не определялось ($p > 0,05$). Подробный отчет по интраоперационным показателям, среднеотдаленным, и отдаленным

результатам оперативного лечения у пациентов с ассиметричным бicuspidальным клапаном, перенесших реконструктивные вмешательства в сочетании с процедурой David представлен на Рисунке 1.

Первичные точки контроля:

Свобода от аортальной регургитации АН 2 и выше в срок $36,2 \pm 20,4$ месяца: после оперативного вмешательства David в сочетании с резекцией межкомиссурального шва и последующим сшиванием дефекта — 67 %; после процедуры David в сочетании с шейвингом, резекцией межкомиссурального шва и пластикой аутоперикардиальной заплатой — 50 %; после операции David с пластикой аутоперикардиальной заплатой — 67 % ($p < 0,05$).

Свобода от реопераций в срок $36,2 \pm 20,4$ месяца: после оперативного вмешательства David в сочетании с резекцией межкомиссурального шва и последующим сшиванием дефекта — 67 %; после процедуры David в сочетании с шейвингом, резекцией межкомиссурального шва и пластикой аутоперикардиальной заплатой — 66 %; после операции David с пластикой аутоперикардиальной заплатой — 67 % ($p > 0,05$).

Ранняя послеоперационная летальность: В группе пациентов, перенесших David+шейвинг + резекцию межкомиссурального шва с пластикой аутоперикардиальной заплатой 2 пациента. У одного пациента сердечно-сосудистая недостаточность возникла на третьи сутки в группе. У второго пациента острое повреждение головного мозга, приведшее к летальности пациента на пятые сутки в группе. В остальных группах наблюдения летальность не определялась ($p < 0,05$).

Выживаемость в I и III группах — 100 %, во II группе пациентов, перенесших процедуру David в сочетании с шейвингом и резекцией межкомиссурального шва с пластикой аутоперикардиальной заплатой составила 83 % ($p < 0,05$).

После оперативного вмешательства David в сочетании с резекцией межкомиссурального шва и последующим сшиванием дефекта — 56 %; после процедуры David в сочетании с шейвингом, резекцией межкомиссурального шва и пластикой аутоперикардиальной заплатой — 75 %; после операции David с пластикой аутоперикардиальной заплатой — 34 % ($p < 0,05$).

Вторичные точки контроля

Длительность ИК и пережатия аорты максимальна в группе David в сочетании с шейвингом, резекцией межкомиссурального шва и пластикой аутоперикардиальной заплатой $170 \pm 51,1$ и $120 \pm 30,2$ соответственно,

Таблица 1.

Подробный отчет по интраоперационным показателям, среднеотдаленным, и отдаленным результатам оперативного лечения у пациентов с ассиметричным бicuspidальным клапаном, перенесших реконструктивные вмешательства в сочетании с процедурой David

Анатомия аортального клапана (классификация Sivers)	Асимметрия, BAV type1.			p-value
	David+резекция межкомиссурального шва с последующим сшиванием дефекта	David+шейвинг +резекция межкомиссурального шва с пластикой аутоперикардиальной заплатой	David+пластика аутоперикардиальной заплатой	
Объем оперативного лечения				
n (%)	9	12	3	
Срок наблюдения (мес.) M±SD	35,2±20,4	36,6±20,4	36,6±20,4	p>0,05
Эхокардиографические показатели в срок 36,2±20,4 месяца				
ФВ ЛЖ (%) M±SD	55,6±6,18	55,36±6,3	53,26±6,4	p>0,05
КДО ЛЖ (мл.) M±SD	145±44,81	158,5±45,7	150,5±45,5	p>0,05
ФК АК (мм.)	27,3±2,45	26,8±2,51	25±2,5	p>0,05
Средий p-р А0 на ур-не СВ (мм.) M±SD	47,3±6,55	50,6±6,43	50,0±6,33	p>0,05
Средий p-р А0 на ур-не ВоА (мм.) M±SD	50,2±5,9	54,4±6,14	53,1±5,83	p>0,05
Первичные точки контроля				
Свобода от аортальной регургитации АН 2 и выше (%)	6(67%)	6(50%)	2(67%)	p<0,05
Свобода от реопераций (%)	6(67%)	8(66%)	2(67%)	p>0,05
Ранняя послеоперационная летальность (%)	0	2(17%)	0	p<0,05
Выживаемость (%)	9(100%)	10(83%)	3(100%)	p<0,05
Свобода от неблагоприятных сердечно-сосудистых событий (%)	5(56%)	9(75%)	1(34%)	p<0,05
Вторичные точки контроля				
ИК, ИМ (мин.) M±SD	155,1±51,1 110±30,1	170±51,1 120±30,2	167,1±51,1 117±30,1	p<0,05
Время пребывания в ОАР, стационаре (к/дни)	1,9 (1;5) 16,7 (2;43)	3,1 (1;61) 19,5 (2;85)	2,1 (1;6) 16,5 (2;39)	p>0,05
Сумарный объем кровопотери (мл.) min-max	1258 (200;2000)	767 (200;3000)	700 (200;3000)	p<0,05

за счет объема и трудоёмкости оперативного вмешательства. Длительность ИК и пережатия аорты минимальна в группе оперативного вмешательства David в сочетании с резекцией межкомиссурального шва и последующим сшиванием дефекта $155,1 \pm 51,1$ и $110 \pm 30,1$ соответственно. В группе III после операции David с пластикой аутоперикардиальной заплатой $167,1 \pm 51,1$ и $117 \pm 30,1$ соответственно ($p < 0,05$).

По времени пребывания в отделении реанимации и интенсивной терапии, стационаре достоверной разницы между группами не определялось ($p > 0,05$).

Суммарный объем кровопотери максимален в группе I — David с резекцией межкомиссурального шва и последующим сшиванием дефекта — 1258 мл (200;2000), минимален в группе III — David с пластикой аутоперикардиальной заплатой — 700 (200;3000) ($p < 0,05$).

Обсуждение

В работе представлены результаты применения клапаносохраняющих процедур при ассиметричной анатомии аортального клапана в сочетании с аневризмой корня аорты и аортальной регургитацией средней степени: выполнение процедуры реимплантации, дополненной пластикой створок («Нестандартный» David) считается сомнительным хирургическим подходом по причине относительной низкой свободы от реопераций на фоне частого развития значимой недостаточности на аортальном клапане.

Ассиметричные клапаны хуже поддаются реконструкции и могут приводить к градиенту давления в послеоперационном периоде, поэтому возникает необходимость создавать ориентацию комиссур с углом 180 градусов [11,13,14].

Реконструктивные операции на аортальном клапане не представляются возможными при наличии выраженного фиброза и кальциноза створок. При выборе вида и объема оперативного лечения необходимо тщательно взвешивать все преимущества реконструктивного подхода у конкретного больного и риски операции, в том числе связанные с пролонгированным оперативным вмешательством и дисфункцией клапана в раннем послеоперационном периоде.

По данным исследования Carpanier: 95 пациентам с периодом наблюдения в 11 лет выполнены различные виды пластик аортального клапана, получены результаты: госпитальная летальность составила 3,3 %, реоперации по поводу рецидива тяжелой аортальной регургитации — 13 %, 15 % имели остаточную аортальную регургитацию [12].

Данные по госпитальной летальности коррелируют с полученными нами результатами. Данные по проценту реопераций сравнить не представляется возможным в связи невозможностью проанализировать процент реопераций в зависимости от анатомии и объема реконструктивного вмешательства аортальном клапане.

Так в данном исследовании свобода от аортальной регургитации АН 2 и выше в срок $36,2 \pm 20,4$ месяца: после оперативного вмешательства David в сочетании с резекцией межкомиссурального шва и последующим сшиванием дефекта — 67 %; после процедуры David в сочетании с шейвингом, резекцией межкомиссурального шва и пластикой аутоперикардиальной заплатой — 50 %; после операции David с пластикой аутоперикардиальной заплатой — 67 % ($p < 0,05$). Свобода от реопераций в срок $36,2 \pm 20,4$ месяца: после оперативного вмешательства David в сочетании с резекцией межкомиссурального шва и последующим сшиванием дефекта — 67 %; после процедуры David в сочетании с шейвингом, резекцией межкомиссурального шва и пластикой аутоперикардиальной заплатой — 66 %; после операции David с пластикой аутоперикардиальной заплатой — 67 % ($p > 0,05$).

С нашей точки зрения пластика створок ассиметричного аортального клапана аутоперикардиальной заплатой связана с относительной низкой свободой от реопераций на фоне частого развития значимой недостаточности на аортальном клапане [15,10,4].

Применение клапаносохраняющих операций при ассиметричной анатомии аортального клапана и значительным поражением створок аортального клапана в сочетании с аневризмой корня аорты, аортальной регургитацией средней степени в данном исследовании показывают неудовлетворительные результаты. Процедура David при ассиметричном бicuspidальном аортальном клапане применима по строгим показаниям.

Заключение

Операция David в сочетании с такими видами пластик, как шейвинг с резекцией межкомиссурального шва и аутоперикардиальной пластикой либо резекция межкомиссурального шва с восстановлением дефекта сшиванием, применяемые в когорте пациентов с наличием частичной деструкции, кальцинации створок Type 1, 1 grade по классификации по Н.Н. Sievers, сочетающимся с аневризмой корня аорты и связаны с неудовлетворительными гемодинамическими показателями в среднеотдаленном, отдаленном послеоперационных периодах, а соответственно высоким процентом реопераций и не рекомендуются к применению.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. David, T.E. Aortic valve sparing in different aortic valve and aortic root conditions / T.E. David // J Am Coll Cardiol. — 2016. — Vol. 68. — № 6. — P. 654–664.
2. Early and Late Results After David vs Bentall Procedure: A Propensity Matched Analysis / S. Leontyev, L. Schamberger, P.M. Davierwala, [et al.] // Ann Thorac Surg. — 2020. — Vol. 110. — № 1. — P. 120–126.
3. Long-term results after aortic valve-sparing operation (David I) / M. Shrestha, H. Baraki, I. Maeding, [et al.] // Eur J Cardiothorac Surg. — 2012. — Vol. 41. — № 1. — P. 56–62.
4. Quality of Life Assessment of Aortic Valve Neocuspidization for Autologous Pericardium: A Systematic Review / R. Komarov, S. Badalyan, M. Lenkovets, [et al.] // J Res Med Dent Sci. — 2022. — Vol. 10. — № 7. — P. 43–49.
5. Systematic review and meta-analysis of surgical outcomes in Marfan patients undergoing aortic root surgery by composite-valve graft or valve sparing root replacement / C.D. Flynn, D.H. Tian, A. Wilson-Smith, [et al.] // Ann Cardiothorac Surg. — 2017. — Vol. 6. — № 6. — P. 570–581. Покровский, А.В. Заболевания аорты и ее ветвей. / А.В. Покровский; — Москва: Медицина, 1979. — 326 с.: ил.; — Текст: непосредственный.
6. Алгоритм выбора хирургической коррекции патологии корня аорты. / Р.Н. Комаров, В.К. Ногинов, С.В. Чернявский, . . . М. Ленковец [и др.] // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. — 2023. — Т. 16. — № 1. — С. 73–81.
7. Исмаилбаев Алишер Маккамджанович ; науч. рук. Р.Н. Комаров; федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет). — Москва, 2022. — 209 с.
8. Ленковец, М. Результаты реконструкции корня аорты по методике David при различных анатомических вариантах недостаточности аортального клапана / М. Ленковец // Журнал «Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики». Серия Естественные и Технические Науки. — 2022. — № 11. — С. 199–206.
9. Процедура Биобенталл и аутологичные материалы в хирургии корня аорты / Р.Н. Комаров, А.М. Исмаилбаев, С.В. Чернявский, . . . М.В. Ленковец [и др.] // Патология кровообращения и кардиохирургия. — 2022. — Т. 26. — № 3. — С. 9–20.
10. Реимплантация двустворчатого аортального клапана по методике David I / И.И. Скопин, Х.В. Паронян, М.С. Латышев [и др.] // Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. — 2020. — Т. 21. — № 3 — С. 297–301.
11. Реконструктивная хирургия аортального клапана: показания, технические аспекты и результаты / Р.Н. Комаров, А.М. Исмаилбаев, П.П. Фролов [и др.] // Новости хирургии. — 2021. — № 3. — С. 347–359.
12. Реконструктивная хирургия клапанов сердца по Карпантье: от анализа клапана к 108 его реконструкции / А. Карпантье, Д.Г. Адамс, Ф. Филсуфи; перевод с английского; под редакцией И.И. Скопина, С.П. Глянцева. — Москва: Логосфера, 2019. — 416 с.: ил.; ISBN 978-5-98657-066-2. — Текст: непосредственный.
13. Реконструктивные операции при бicuspidальной анатомии аортального клапана: промежуточные результаты и предикторы аортальной недостаточности / А.В. Караджа, А.В. Богачев-Прокофьев, Р.М. Шарифулин [и др.] // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. — 2021. — Т. 14. — № 4. — С. 300–307.
14. Реконструкция корня аорты при двустворчатом аортальном клапане / Р.М. Шарифулин, И.И. Демин, Д.А. Астапов [и др.] // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. — 2020. — Т. 13. — № 3. — С. 213–223.
15. Среднесрочные результаты процедуры «Нетипичный David» — реимплантация аортального клапана, дополненная пластикой створок / А.М. Исмаилбаев, Р.Н. Комаров, . . . М. Ленковец [и др.] // Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН «XXV Ежегодная Сессия НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева с Всероссийской конференцией молодых ученых». — 2022. — Т. 23. — № 3(приложение). — С. 27.

© Комаров Роман Николаевич (Komarovroman@rambler.ru); Ленковец Марина (mvl-login@bk.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РЕАБИЛИТАЦИЯ РЕПРОДУКТИВНОЙ ФУНКЦИИ У ПАЦИЕНТОК ПОСЛЕ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ЭНДОМЕТРИОЗА

REHABILITATION OF REPRODUCTIVE FUNCTION IN PATIENTS AFTER SURGICAL TREATMENT OF ENDOMETRIOSIS

I. Korotkikh
M. Bocharova

Summary. This study analyzes the existing deterministic mathematical models for predicting the release of chemicals. The purpose of this analysis was to determine the equations included in the models, the numerical methods used, the limitations of each model, as well as the implementation of the models considered. The study included a literature review and analysis of various deterministic models. Aspects such as the use of various parameters, including meteorological conditions, physical properties of the substance, geographical data, and data on the distribution of areas, were considered. The results of the analysis showed that each model has its advantages and limitations. Some models present more accurate results based on the laws of physics and chemistry but require a large amount of data and high computing power. On the other hand, more simplified (two-dimensional) models produce results much faster. Based on the analysis, it can be concluded that the choice of a model for predicting the release of chemicals should be based on the specific requirements and goals of a particular study or task. Further research may include the development of improved models, consideration of new factors and parameters, as well as more accurate calibration using real data.

Keywords: numerical methods, equations of mathematical physics, release of substances as a result of a man-made accident, forecasting.

Коротких Ирина Николаевна

Д.м.н., профессор, Воронежский государственный
медицинский университет им. Н.Н. Бурденко
korotkikh_1950@mail.ru

Бочарова Мария Павловна

Аспирант, Воронежский государственный
медицинский университет им. Н.Н. Бурденко
bocharova8582@mail.ru

Аннотация. На сегодняшний день, одной из наиболее острых проблем в современной гинекологии остаётся проблема заболеваемости эндометриозом. Анализ научных исследований в гинекологии начиная с древних времен и заканчивая сегодняшним днём, показывает актуальность данной проблемы. Выбор методов терапии эндометриоза широк, но, однако нет единого подхода к лечению.

Процентное соотношение больных, имеющих данное заболевание неизменно растёт. На сегодняшний день оно составляет примерно 200 миллионов женщин во всём мире. В России распространённость эндометриоза в структуре гинекологической патологии занимает третье место. Кроме того, эндометриоз стал иметь тенденцию к омоложению, тогда как все большее количество женщин откладывают планирование беременности и роды на более поздний репродуктивный возраст (14 международный конгресс по репродуктивной медицине, г. Москва, 2020 г.).

Ключевые слова: эндометриоз, репродуктивное здоровье, эпидемиология, этиология, патогенез, симптомы, диагностика, лечение.

Введение

Эндометриоз негативно влияет на качество жизни, трудоспособность и социальную активность женщины.

Основной проблемой у женщин, страдающих эндометриозом, является риск рецидива. Частота рецидивов после хирургического лечения: через 1–2 года — 15–21 %, спустя 5 лет — 36–47 %, через 5–7 лет — 50–55 %. Наиболее высока частота рецидивов при распространённом эндометриозе или в случае невозможности удалить инфильтративные очаги с сохранением органов репродуктивной системы.

Актуальность

Эндометриоз — хроническое, гормонально-зависимое, рецидивирующее заболевание, при котором

за пределами полости матки происходит доброкачественное разрастание ткани, по морфологическим и функциональным свойствам подобной эндометрию.

Эндометриоз — заболевание женщин преимущественно репродуктивного возраста (от 10 до 50 %), но может встречаться и у подростков. В России распространённость эндометриоза в структуре гинекологических патологий занимает третье место. В структуре заболеваний репродуктивных органов эндометриоз занимает третье место, сразу же после воспалительных заболеваний придатков матки и миомы матки [1,2,3,4,5,6,7]. По данным аутопсий — частота встречаемости эндометриоза составляет 53,7 % [8,9,10,11,12,13,14]. Яичники, при эндометриозной болезни (наружном генитальном эндометриозе) поражаются в подавляющем (70 %) количестве случаев [15,16,17].

Эпидемиология

- 1 из 10 женщин репродуктивного периода страдает эндометриозом.
- Запоздавшая диагностика (в среднем 7–8 лет).
- Частая причина бесплодия (10–20 % случаев).
- Причина развития спаечного процесса в малом тазу (30–60 % случаев).
- Частое рецидивирование заболевания (30 %–52 % в течение 5 лет).
- Длительное и прогрессирующее течение заболевания.
- Тяжесть клинических проявлений.
- Стойкое нарушение репродуктивной функции.
- Снижение овариального резерва.
- Снижение трудоспособности и качества жизни женщины [18].

Этиология

В настоящее время не существует одной, признанной всеми исследователями точки зрения о происхождении эндометриоза. Старейшей теорией является теория ретроградной менструации (J.A. Sampson, 1925). Эта теория предполагает, что эндометриоз возникает из-за ретроградного потока и заброса клеток эндометрия через фаллопиевы трубы в полость малого таза при менструации. Теория метаплазии предполагает, что эндометриоз возникает на основе превращения специализированных клеток, которые присутствуют в мезотелиальной выстилке висцерального листка брюшины. Гормональные или иммунные факторы могут стимулировать трансформацию клеток перитонеальной ткани в клетки эндометрия. Существует также мнение, что эндометриоз может быть результатом дефектного эмбриогенеза. *Гормональная теория.* Считается, что стероидные гормоны играют центральную роль в этиологии эндометриоза, так как это заболевание женщин репродуктивного возраста. Эстроген является движущей силой пролиферации эндометрия и эктопических поражений. Некоторые токсины, такие как диоксин, могут имитировать действие эстрогена, взаимодействуя с рецепторами эстрогена. Многие авторы считают, что эндометриоз ассоциирован с резистентностью эндометрия к прогестерону, который играет ключевую роль в развитии болезни. В последние годы установлено, что эндометриоидный имплантат участвует в метаболизме стероидных гормонов. В частности, под воздействием ароматазы андростендион внутри имплантата трансформируется в эстрадиол. *Окислительный стресс и воспаление.* Увеличение окисления липопротеинов связывают патогенетически с эндометриозом. Воспаление, являющееся ключевой характеристикой эндометриоидной ткани, связано с чрезмерной продукцией простагландинов, металлопротеиназ, цитокинов, хемокинов и др. Повышение уровня цитокинов, характеризующих острую воспалительную реакцию [таких как интерлейкин-1 β (ИЛ-1 β), ИЛ-6 и фактор некроза

опухоли (ФНО)], способствует прикреплению фрагментов эндометриоидной ткани к поверхности брюшины. *Иммунная теория.* Факт, что аутоиммунные заболевания чаще встречаются у женщин с эндометриозом, поддерживает мнение о наличии дефекта иммунного ответа. Дефект «иммунного надзора» может приводить к нарушению удаления из брюшной полости менструального заброса и способствовать имплантации и росту клеток эндометрия в эктопических участках.

Генетика. Эндометриоз имеет полигенный режим наследования, включающий различные локусы и регионы хромосом. Многочисленные данные показывают, что различные типы эндометриоза могут быть связаны с изменением разных кластеров генов, которые регулируют специфические клеточные aberrации. Стволовые клетки. Ежемесячная регенерация эндометрия после менструации, реэпителизация эндометрия после родов или хирургического выскабливания поддерживает существование пула стволовых клеток. Недавно клоны популяции стволовых клеток в эндометрии были идентифицированы и высказана гипотеза об их участии в формировании эктопических эндометриальных поражений. Таким образом, наличие различных теорий возникновения эндометриоза указывает на отсутствие одной, принятой и одобренной всеми исследователями теории, что усложняет реализацию клинических подходов к диагностике и лечению эндометриоза.

Патогенез

1. Гормональные рецепторы

Некоторые наследственные генетические полиморфизмы ЭР и ПР предрасполагают к развитию эндометриоза. Существует два вида ЭР (ЭРа и ЭР β), при этом активность ЭРа связана с пролиферацией эндометрия, в то время как функция ЭР β остаётся до конца неясной. В эндометриоидной ткани экспрессия ЭР β в 142 раза выше, чем в нормальной эндометрии, а концентрация ЭРа только в 9 раз превышает таковую. ЭР β в стромальных эндометриоидных клетках оккупируют промотерную зону ЭРа, снижая их активность и экспрессию.

2. Локальная гиперэстрогения

В нормальной эндометрии экспрессия ароматазы не определяется в отличие от эндометрия женщин с эндометриозом. Повышенной экспрессии ароматазы способствуют простагландин E₂, эстрадиол и другие провоспалительные цитокины. Таким образом, при эндометриозе происходит нарушение баланса активности ферментов, участвующих в метаболизме эстрогенов и прогестерона, что приводит к усилению пролиферативных влияний эстрадиола локально в эндометриоидной гетеропии и снижению концентраций прогестерона, играющего защитную роль.

3. Провосполительные процессы

Воспаление, характерное для эндометриозной ткани, связано с чрезмерной продукцией простагландинов, цитокинов (ИЛ-1 β , ИЛ-6, ИЛ-8, фактор некроза опухоли), хемокинов, металлопротеиназ и др. Образование этих белков и ассоциированных иммунных клеток способствует инвазии эндометриозной ткани в брюшину и прогрессированию заболевания. Перитонеальную среду составляют перечисленные выше провоспалительные цитокины и различные ФР — туморнекротический фактор роста, ИФР-1 и др.

4. Неоангиогенез

Неоангиогенез — ключевое звено в развитии не только эндометриоза, но и всех пролиферативных процессов, требующих васкуляризации. Важная роль принадлежит сосудистому эндотелиальному фактору роста (СЭФР), принимающему участие как в процессах физиологического, так и патологического ангиогенеза. СЭФР оказывает модулирующее влияние на элонгацию, митозы, миграцию эндотелиальных клеток; за счёт оксида азота вызывает расширение и увеличение проницаемости сосудов, что способствует улучшению питания эндометриозной ткани. Выявлена положительная корреляция между содержанием СЭФР в перитонеальной жидкости и тяжестью эндометриоза.

Клиника

К основным клиническим проявлениям эндометриоза относятся: боль, наличие эндометриомы, бесплодие, нарушение менструального цикла.

1. Эндометриоз и боль. Установлено, что интенсивность боли при эндометриозе может не соответствовать тяжести течения процесса.

Анализ жалоб пациентки и традиционный гинекологический осмотр позволяют лишь предположить наличие эндометриоза.

Больные эндометриозом и ХТБ обычно предъявляют жалобы на постоянную и периодическую, ноющую или приступообразную, продолжительную боль, как правило, ограниченную областью малого таза, поясницей, передней брюшной стенкой ниже пупка.

Боль, как правило, достигает пика в дни менструаций и ослабевает после нее. Боль обусловлена тем, что в очагах эндометриоза происходят циклические расстройства, сходные с происходящими в эндометрии, а также сопутствующими воспалительными нарушениями, изменениями в нервных окончаниях и спаечным процессом, в который нередко вовлечены нижние от-

делы кишечника. При длительном течении заболевания боль утрачивает периодичность, приобретая характер хронического болевого синдрома. Возможна боль также при дефекации (при поражении прямой кишки или ее вовлечении в спаечный процесс) и мочеиспускании (при поражении мочевого пузыря). Некоторые пациентки испытывают дискомфорт и болевые ощущения при половом акте (диспареуния).

Как правило, этот симптом встречается у женщин с поражением крестцово-маточных связок, ректовагинальной перегородки, прямокишечно-маточного пространства и влагалища.

2. Эндометриоз и бесплодие. Наружный генитальный эндометриоз (НГЭ) встречается у 5–10 % женщин репродуктивного возраста. Частота выявления эндометриоза при лапароскопии, в том числе проводимой с целью уточнения причины бесплодия, составляет 20–55 %.

Среди обращающихся в центры вспомогательных репродуктивных технологий (ВРТ) для проведения ЭКО более 30 % пациенток имеет НГЭ. При выработке плана ведения больных бесплодием, ассоциированным с эндометриозом, следует учитывать возраст женщины, продолжительность бесплодия, наличие боли и стадию заболевания (ASRM, 2012).

Провоспалительные изменения фолликулярной жидкости оказывают влияние на оогенез, при этом фиксируют удлинение фолликулиновой фазы, уменьшение размера доминантного фолликула и активацию апоптоза клеток кумулюса.

На процесс оплодотворения может оказывать негативное влияние измененный состав перитонеальной жидкости, которая нарушает подвижность сперматозоидов, вызывает активацию апоптоза сперматозоидов, препятствует адекватной акросомальной реакции и прикреплению к *zonae pellucida*.

Эндометриоз оказывает особое негативное влияние на ранние этапы эмбриогенеза, при этом возможны аномалии дробления, ядерные и цитоплазматические нарушения, аномальный хетчинг, эпигенетическое репрограммирование эмбриона и функциональная незрелость *zonae pellucida*.

В последнее время уделяется особое внимание эпигенетическим механизмам бесплодия при эндометриозе.

Прогрессирование эндометриоза ухудшает прогноз наступления беременности.

Показания к проведению экстракорпорального оплодотворения (ЭКО) и переноса эмбриона (ПЭ) при эн-

дометриозе — освобождение гамет и эмбрионов от негативного влияния провоспалительных агентов перитонеальной жидкости.

Хирургическое лечение повышает частоту наступления беременности.

3. *Нарушения менструального цикла* типа менометроррагий характерны для аденомиоза. Месячные длятся более 7 дней, сопровождаются сгустками и вызывают вторичную анемию.

Часто отмечают межменструальные незначительные кровянистые выделения. Выделения, как правило, появляются в предменструальном периоде и длятся 7 дней. Постменструальные выделения особенно характерны для аденомиоза, а предменструальные — для эндометриоза шейки матки.

Диагностика

В диагностике генитального эндометриоза важнейшее значение имеют данные анамнеза. Так и риск развития эндометриоза повышен у женщин, перенесших выскабливания эндометрия, операции на матке, операции на придатках. Эндометриоз чаще развивается у нерожавших, обильно и длительно менструирующих женщин с укороченным межменструальным интервалом (менее 27 дней); при дисменорее, поскольку гиперпрогестеродинемия приводит к нарушению сократимости маточных труб, что является фактором, способствующим ретроградной менструации. Длительное и безуспешное лечение воспалительных заболеваний у женщин с первичным бесплодием также заставляет предположить эндометриоз.

Рутинным методом диагностики в современной клинике является УЗИ. Его можно считать скрининговым методом.

Особое значение имеет гистероскопия в выявлении различных видов патологии эндометрия. При эндометриозе на основании визуализации внутренней поверхности матки может быть не только уточнен диагноз, но и определена форма и стадия заболевания.

Гистероскопические признаки аденомиоза различны в зависимости от его формы и выраженности. Наилучшее время для выявления этой патологии — 5–6-й день менструального цикла [19]. Для диагностики эндометриоза шейки матки используется кольпоскопия, весьма информативная в предменструальном периоде, когда из эндометриодных гетеротопий шейки выделяется темная кровь. Рекомендуется в таких случаях биопсия этих областей для гистологического подтверждения диагноза. Для обнаружения эндометриоза в цервикальном

канале используют цервикоскопию фиброгистероскопом.

В последние годы в диагностике используют определение СА-125-антигена, экспрессируемого клетками, производными целомического эпителия мюллеровых протоков. СА-125 у здоровых женщин 0–35 ЕД/мл, при эндометриозе он повышается, причем величина его коррелирует с распространенностью процесса.

И наконец, самым надежным методом подтверждения диагноза наружного эндометриоза, особенно малых форм и форм 1–2 степени распространенности, является лапароскопия.

ЛЕЧЕНИЕ

Одним из важнейших факторов остается выбор препарата для очень длительной терапии [20].

Заболевание повышает риск формирования репродуктивных нарушений.

Таким образом, оспаривать необходимость лечения невозможно. Выбор метода или комбинации методов напрямую зависит от целей лечения, которые определяются конкретной клинической ситуацией, фертильными планами пациентки и должны быть четко сформулированы к моменту его начала.

Роль гормональной терапии в комплексном лечении больных с эндометриозом трудно переоценить, поскольку она эффективна, достаточно безопасна, предупреждает рецидивирование и прогрессирование заболевания, снижает риск выполнения повторного оперативного вмешательства.

Лечение наружного (перитонеального) эндометриоза

Основная цель медицинского лечения — свести к минимуму необходимость в хирургическом вмешательстве, однако лечение симптомов эндометриоза часто требует сочетания медицинских, хирургических и психологических подходов [21,22,23].

Общепринятым считается пожизненный индивидуальный подход, основанный на характеристиках и предпочтениях пациентки, таких как возраст, наличие симптомов и статус фертильности [24,25]. Пероральные гестагены имеют разные профили в отношении их влияния на гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковую систему, ткань молочной железы и половые органы. Гестагены подавляют пролиферацию эндометрия и вызывают апоптоз эндометриодных клеток, что делает их эффективными при лечении эндометриоза [26].

Дидрогестерон является ретропрогестероном, так как его молекула имеет атом водорода у C9 в β-положении и метильную группу у C10 в α-положении. Кроме того, более высокая биодоступность дидрогестерона при пероральном приеме по сравнению с прогестероном наряду с его эффективностью при относительно низких дозах может минимизировать нежелательные побочные эффекты. Дидрогестерон может вызывать атрофию эктопической ткани эндометрия и подавлять образование эндометриоидной ткани *de novo*, не затрагивая эутопический эндометрий тем самым снижая тяжесть симптомов эндометриоза [25, 27]. В отличие от некоторых других методов лечения, дидрогестерон также можно использовать на этапе прегравидарной подготовки и во время беременности [28].

Существуют 2 режима применения дидрогестерона при лечении эндометриоза: пролонгированный циклический режим терапии (с 5-го по 25-й день менструального цикла) и непрерывный режим терапии с дозами от 10 до 30 мг/сут [29]. Показанием к хирургическому лечению являются хроническая тазовая боль, не поддающаяся эмпирической терапии диеногестом (Визанной); эндометриомы яичников, ректовагинальный эндометриоз, бесплодие. По последним данным, лапароскопию нужно проводить на 5–12-й день цикла, что почти вдвое снижает риск рецидива заболевания. При наружном эндометриозе основной целью лечения является удаление эндометриоидной ткани, рассечение спаек, восстановление фертильности при бесплодии лапароскопическим доступом.

По современным представлениям, удаление очагов эндометриоза проводится различными энергиями, а не иссечением, что значительно травматичнее.

Хирургический метод лечения лапароскопическим доступом является первым этапом лечения эндометриоидных кист яичников, имплантов на брюшине и органах малого таза, крестцово-маточных связках. Длительное

наблюдение и консервативное лечение способствует прогрессированию и распространению эндометриоидных гетеротопий. Следует обратить внимание хирургов, что при удалении эндометриом необходимо полностью удалить ложе опухоли и максимально сохранить кору яичника, поскольку в противном случае резко снижаются овариальные резервы.

Выводы

На сегодняшний день можно констатировать, что публикации последних лет подчеркивают высокую частоту рецидивов после операции и возможные осложнения, связанные с обширным хирургическим вмешательством, особенно в отношении снижения овариального резерва. В современных условиях лечение эндометриоза основывается на сохранении качества жизни и репродуктивных возможностей женщины путем применения гормональных препаратов с благоприятным профилем переносимости. Основной целью современной терапии наружного генитального эндометриоза является не только подавление уровня эстрогенов, синтезируемых яичниками, но и патогенетическое влияние на сам очаг эндометриоза.

При сочетании эндометриоза с бесплодием применяется повторная лапароскопия. С помощью лапароскопии удается установить от 35 до 75 % случаев причину хронической тазовой боли и бесплодия.

Своевременная ранняя диагностика, точная дифференциальная диагностика объемных образований яичников и адекватная терапия опухолей яичников является действенной профилактикой рака яичников.

На данный момент ни одна из стратегий лечения эндометриоза не привела к его полному излечению. Во многих случаях при тяжелом рецидивирующем течении единственным методом лечения эндометриоза может быть полная ликвидация очага.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.В. Адамян Эндометриоз: Диагностика, лечение и реабилитация. Федеральные клинические рекомендации по ведению больных /Л.В. Адамян, Е.Н. Андреева, И.А. Аполихина, В.Ф. Беженарь, М.А. Геворкян, А.И. Гус, В.Н. Демидов, Е.А. Калинина, С.А. Леваков, Л.А. Марченко, А.А. Попов, М.М. Сонова, А.З. Хащукоева, Г.Е. Чернуха, Е.Л. Яроцкая. — М.: ФГБУ «Научный Центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. В.И. Кулакова» Минздрава РФ, 2013. — 66 с.
2. Giudice L.C. Clinical practice. Endometriosis. N. Engl. J. Med. 2010; 362(25): 2389–98.
3. Granese R., Perino A., Calagna G. et al. Gonadotropin-releasing hormone analogue or dienogest plus estradiol valerate to prevent pain recurrence after laparoscopic surgery for endometriosis: a multi-center randomized trial // Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica. 2015. Vol. 94. P. 637–645
4. Giudice L.C., Kao L.C. Endometriosis // Lancet. 2004. Vol. 364(9447). P. 1789–1799.
5. Kennedy S., Bergqvist A., Chapron C. et al. ESHRE guideline for the diagnosis and treatment of endometriosis. Hum Reprod 2005; 20: 2698–2704.
6. Somigliana E., Berlanda N., Benaglia L. et al. Surgical excision of endometriomas and ovarian reserve: a systematic review on serum antimullerian hormone level modifications // Fertil Steril. 2012. Vol. 98. P. 1531–1538.
7. Vercellini P., Somigliana E., Vigano P. et al. Endometriosis: current therapies and new pharmacological developments. Drugs 2009; 69: 649–675.
8. Адамян, Л.В. Молекулярные аспекты патогенеза эндометриоза / Л.В. Адамян, Я.Б. Азнаурова // Проблемы репродукции. — 2015. — № 2. — С. 66–77.

9. Логинова, О.Н. Эндометриоз и бесплодие: патофизиология и тактика ведения / О.Н. Логинова, М.М. Сонова // Российский вестник акушера-гинеколога. — 2011. — №6. — С. 47–53.
10. Garcia-Velasco J.A., Mahutte N.G., Corona J. et al. Removal of endometriomas before in vitro fertilization does not improve fertility outcomes: a matched, case-control study. *Fertil Steril* 2004; 81: 1194–1197.
11. Periman S., Kjer J.J. Ovarian damage due to removal: a comparison of endometriomas and dermoid cyst // *Acta Obstet Gynecol Scand*. 2016. Vol. 95(3). P. 285–290.
12. Strowitzki T., Faustmann T., Gerlinger C. et al. Safety and tolerability of dienogest in endometriosis: pooled analysis from the European clinical study program // *International Journal of Womens Health*. 2015. Vol. 7. P. 393–401.
13. Vercellini P., Somigliana E., Vigano P. et al. Surgery for endometriosis associated infertility: a pragmatic approach. *Hum Reprod* 2009; 24: 254–269.
14. Yap C., Furness S., Farquhar C. Pre and post operative medical therapy for endometriosis surgery. *Cochrane Database Syst Rev* 2004; 3.
15. Гаспаров, А.С. Эндометриоз и бесплодие: инновационные решения / А.С. Гаспаров, Е.Д. Дубинская. — М.: ООО «Медицинское информационное агентство». 2013, — 128 с.
16. Герасимов, А.М. Наружный генитальный эндометриоз и бесплодие: патогенез, ранняя диагностика, прогноз и эффективность лечения: дисс. д-ра. мед. наук: 14.00.01 / Герасимов Алексей Михайлович. — М., 2009. — 337 с.
17. Hart R.J., Hickey M., Maouris P., Buckett W. Excisional surgery versus ablative surgery for ovarian endometriomata. *Cochrane Database Syst Rev* 2008; 2.
18. А.В. Козаченко. Преимущества комплексного подхода к лечению эндометриоза. XVI Международный конгресс по репродуктивной медицине, Москва, 2022.
19. Гистероскопия. Атлас и руководство. Г.М. Савельева, В.Г. Бреусенко, Л.М. Каппушева, Москва, изд. ГЭОТАР-Медиа, 2018
20. Журнал: Российский вестник акушера-гинеколога. 2016;16(4): 102–106
21. Brooks T., Sharp R., Evans S., Baranoff J., Esterman A. Predictors of psychological outcomes and the effectiveness and experience of psychological interventions for adult women with chronic pelvic pain: a scoping review. *J Pain Res*. 2020; 13: 1081–102.
22. Chapron C., Marcellin L., Borghese B., Santulli P. Rethinking mechanisms, diagnosis and management of endometriosis. *Nat Rev Endocrinol*. 2019; 15: 666–82.
23. Van Niekerk L., Weaver-Pirie B., Matthewson M. Psychological interventions for endometriosis-related symptoms: a systematic review with narrative data synthesis. *Arch Womens Ment Health*. 2019; 22: 723–35.
24. Denny E., Weckesser A., Jones G., Bibila S., Daniels J., Bhat-tacharya S.; PRE-EMPT Team. Women's experiences of medical treatment for endometriosis and its impact on PRE-EMPT trial participation: a qualitative study. *Pilot Feasibility Stud*. 2018; 4: 168.
25. Schweppe K.-W. The place of dydrogesterone in the treatment of endometriosis and adenomyosis. *Maturitas*. 2009; 65 (suppl 1): S23–7.
26. Bitzer J. Progestogens in Contraception. In: Carp H. (ed.). *Progestogens in Obstetrics and Gynecology*. Switzerland: Springer International Publishing, 2015: 111–27.
27. Trivedi P., Selvaraj K., Mahapatra P.D., Srivastava S., Malik S. Effective post-laparoscopic treatment of endometriosis with dydrogesterone. *Gynecol Endocrinol*. 2007; 23 (suppl 1): 73–6.
28. Mirza F.G., Patki A., Pexman-Fieth C. Dydrogesterone use in early pregnancy. *Gynecol Endocrinol*. 2016; 32: 97–106.
29. Abbott B.V., the Netherlands. Duphaston 10 mg film-coated tablets. Summary of Product Characteristics, 2020.

© Коротких Ирина Николаевна (korotkikh_1950@mail.ru); Бочарова Мария Павловна (bocharova8582@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РАЗВИТИЕ РАННИХ ВЫРАЖЕННЫХ ДИСКИНЕЗИЙ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ЛЕВОДОПОЙ. РАЗБОР КЛИНИЧЕСКОГО СЛУЧАЯ

THE DEVELOPMENT OF EARLY PRONOUNCED DYSKINESIA IN THE TREATMENT OF LEVODOPA. ANALYSIS OF A CLINICAL CASE

A. Kumakhov
N. Zhukova

Summary. This article is devoted to the analysis of a clinical case of development of early and pronounced dyskinesias and motor fluctuations in a patient with Parkinson's disease when high doses of levodopa were prescribed as a starting therapy, which was the cause of these complications. Data on the patient were obtained by studying medical records, as well as conducting a neurological examination, analyzing complaints, anamnesis of the disease and life. During the study of the anamnesis of the disease, it was revealed that after the appointment of a high starting dose of levodopa, the patient after some time developed pronounced dyskinesias and motor fluctuations, which significantly reduced the quality of life and daily activity of the patient. The clinical example proves the need for careful selection of adequate starting therapy for Parkinson's disease to prevent the development of side effects and complications.

Keywords: Parkinson's disease, levodopa, complications of therapy, dyskinesia.

Кумахов Амирхан Алимович

Ассистент, ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская государственная медицинская академия», Владикавказ
ya.kumahov@yandex.ru

Жукова Наталья Григорьевна

Профессор, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет», Томск

Аннотация. Данная статья посвящена разбору клинического случая развития ранних и выраженных дискинезий и моторных флюктуаций у пациента с болезнью Паркинсона при назначении высоких доз леводопы в качестве стартовой терапии, что и явилось причиной данных осложнений. Данные о пациенте получены путем изучения медицинской документации, а также проведения неврологического осмотра, анализа жалоб, анамнеза заболевания и жизни. Во время изучения анамнеза заболевания было выявлено, что после назначения высокой стартовой дозы леводопы у пациента спустя некоторое время развились выраженные дискинезии и моторные флюктуации, которые значительно снизили качество жизни и повседневную активность больного. Клинический пример доказывает необходимость тщательного подбора адекватной стартовой терапии болезни Паркинсона для предотвращения развития побочных эффектов и осложнений.

Ключевые слова: болезнь Паркинсона, леводопы, осложнения терапии, дискинезии.

Актуальность

Болезнь Паркинсона (БП) является прогрессирующим нейродегенеративным заболеванием, которое характеризуется сочетанием гипокинезии с мышечной ригидностью и/или тремором покоя, а также развитием постуральной неустойчивости и немоторных нарушений в виде вегетативных, психических, диссомнических, когнитивных и сенсорных симптомов [1]. БП является вторым по распространенности нейродегенеративным заболеванием после болезни Альцгеймера и за последние три десятилетия было зафиксировано значительное увеличение количества людей с данной патологией [2]. Хотя болезнь была описана около 200 лет назад Джеймсом Паркинсоном, причины и механизмы ее развития остаются не до конца выясненными. Однако в настоящее время установлено, что в основе гибели клеток черной субстанции среднего мозга лежит совокупность экологических и генетических факторов, и такие ключевые процессы, как митохондриальная дисфункция, окислительный стресс, дисфункция убиквитин-протеасомной системы [3]. Первые симптомы заболевания по-

являются лишь тогда, когда погибло уже около 70 % клеток черного вещества среднего мозга (что соответствует 80 %-ному снижению уровня дофамина в базальных ганглиях) [4]. Симптоматическая терапия при БП направлена на нормализацию биохимического дисбаланса, связанного с дофамином, принципами которого являются: повышение синтеза дофамина, прямая стимуляция дофаминовых рецепторов, торможение обратного захвата и катаболизма дофамина [5]. Правильная постановка диагноза, а также подбор терапии в соответствии со стадией БП и индивидуальными особенностями конкретного пациента имеют принципиально важное значение, так как в противном случае врач вынужден будет бороться уже не только и не столько с самим заболеванием, но и с целым рядом побочных эффектов, вызванных неадекватной тактикой лечения [6]. Многие специалисты некорректно назначают стартовую и поддерживающую терапию БП, тем самым усугубляют и без того тяжелое состояние пациента, добавляя к ней побочные эффекты и осложнения от лечения, что и повлияло на написание данной статьи.

Материалы и методы

Материалом для статьи послужил консультативный прием пациента в клинике с проведением тщательного опроса и неврологического осмотра, а также изучение выписок из стационаров, амбулаторной карты пациента, заключений специалистов и видеоматериалов, предоставленных пациентом и родственниками.

Результаты исследования

В марте 2024 года в частную медицинскую клинику города Нальчика обратилась женщина 1956 года рождения в сопровождении дочери из-за ограничения подвижности. Со слов дочери стало известно, что пациентка заболела около 14 лет назад (в 2010 году) с нарастания скованности и тремора в правых конечностях.

После обращения к неврологу спустя несколько месяцев был выставлен диагноз: «Болезнь Паркинсона, смешанная форма, I стадия по Хен-Яру». В качестве стартовой терапии врач назначил высокие дозы леводопы (1000–1200 мг) без титрования, что является некорректным лечением для начальной стадии болезни, которое может привести к развитию побочных эффектов и осложнений. Спустя два года после начала лечения у пациентки начали появляться неконтролируемые движения в руках и ногах после приема леводопы. Затем присоединились и насильственные движения в туловище и мимической мускулатуре. Данные дискинезии «пика дозы» возникали приблизительно спустя 30 минут и до 1 часа после приема леводопы и длились от 30 мин до 2–3 часов в зависимости от количества принятой разовой дозы препарата. Период «оп» начинался лишь после завершения данных приступов. В течение 10 лет пациентка принимала леводопу в таких высоких дозах и терпела возникающие тяжелые дискинезии всего тела. Затем после очередной консультации невролога была предпринята попытка корректирования лечения с добавлением амантадина, трехкомпонентной формы леводопы и прамипексола. Однако и на данные препараты у пациентки возникали дискинезии и ухудшение симптомов основного заболевания.

На момент осмотра нами пациентка принимала леводопу в дозе 250 мг 3 раза в день, прамипексол в дозе 1,5 мг 3 раза в день и амантадин 100 мг 3 раза в день. Приступы дискинезий пытались снимать клоназепамом и габапентином без эффекта. Все еще отмечались выраженные дискинезии «пика дозы» во всех конечностях, туловище и мимической мускулатуре, а также развился феномен «истощения разовой дозы» и период действия леводопы уменьшился до 2–3 часов. Дочь пациентки предоставила с разрешения больной видеоматериалы развития дискинезий, которые возникали после абсолютно каждого приема противопаркинсонических пре-

паратов. На видео пациентка всегда лежала с закрытыми глазами и были видны выраженные насильственные движения рук, ног и туловища, а также наблюдалась орорально-фациальная дискинезия, которая проявлялась спазмом практически всех мимических мышц.

Неврологический статус на момент осмотра: В сознании. Черепно-мозговые нервы интактны. Лицо амимичное. Рефлексы с рук и ног D=S, средней живости. Нарушений чувствительности и парезов нет. Среднеамплитудный тремор покоя в руках, редуцирующийся при постуральной пробе. Выраженная брадикинезия в нижних и верхних конечностях. Ходьба с посторонней помощью, замедленная, семенящая с затруднением поворотов и инициации. Тазовые функции с задержкой стула и учащением мочеиспускания.

После изучения анамнеза и проведения неврологического осмотра нами был выставлен диагноз: Болезнь Паркинсона, смешанная форма, IV стадия по Хен-Яру. Дискинезия начала и пика дозы. Феномен истощения конца дозы. Вегетативные нарушения.

В день осмотра утром пациентка приняла препарат тригексифенидил 2 мг, на фоне которого приступ дискинезий длился значительно меньше — около 30 мин. Для корректировки текущего лечения было предложено снизить разовую дозу леводопы 250 мг/25 мг до 1/4 таблетки с увеличением кратности приема лекарства до 6 раз в сутки и добавить к терапии тригексифенидил 1 мг 3 раза в день с титрованием до 10 мг в качестве суточной дозы, а также провести внутривенную инфузию амантадина в течение 10 дней. Спустя несколько дней родственники пациентки отметили значительное улучшение состояния пациентки, которое проявилось в регрессии дискинезий и более длительном периоде «оп». Однако еще через одну неделю данные симптомы вновь начали беспокоить пациентку в прежнем объеме. Было рекомендовано к разовой дозе леводопы добавлять каждый раз 1/2 таблетки амантадина 6 раз в сутки. На фоне данной корректировки изменений также не отмечалось — дискинезии и феномен «истощения конца дозы» сохранялись, но после дискинезий период включения был дольше. Для корректировки данных симптомов пациентке было рекомендовано провести оперативное лечение в нейрохирургическом центре Москвы.

Заключение

Таким образом назначение неадекватной стартовой терапии с высокими дозами леводопы на I стадии БП привело к развитию тяжелых осложнений лечения в виде дискинезий и моторных флюктуаций, которые мучительно и ежедневно сопровождали пациентку в течение длительного времени. Попытки корректирования лечения путем изменения схем лечения уже не привели

к желаемым результатам и пришлось рекомендовать хирургическое вмешательство. Врачам-неврологам необходимо тщательно подбирать стартовую и текущую

противопаркинсоническую терапию для недопущения развития осложнений лечения и уменьшения выраженности симптомов заболевания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левин О.С. Лечение ранней стадии болезни Паркинсона / О.С. Левин // Трудный пациент. — 2015. — Т. 13, № 5–6. — С. 11–17.
2. Cabreira V. Parkinson's Disease: Clinical Review and Update / V. Cabreira, J. Massano // Acta medica portuguesa. — 2019. — Vol. 32, №10. — Pp. 661–670.
3. Таппахов А.А. Современные представления об этиологии и патогенезе болезни Паркинсона (обзор) / А.А. Таппахов, Т.Я. Николаева // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Медицинские науки. 2016. — №2(3). — С. 19–27.
4. Левин О.С. Болезнь Паркинсона: современные подходы к диагностике и лечению / О.С. Левин, Д.В. Артемьев, Е.В. Бриль, Т.К. Кула // Практическая медицина. — 2017. — № 1 (102). — С. 45.
5. Фёдорова Н.В. Болезнь Паркинсона: диагностика и лечение / Н.В. Фёдорова // Современная терапия в психиатрии и неврологии. — 2016. — №1. — С. 13–17.
6. Иллариошкин С.Н. Современные подходы к лечению болезни Паркинсона / С.Н. Иллариошкин // Нервные болезни. — 2004. — №4. — С. 14–21.

© Кумахов Амирхан Алимович (ya.kumahov@yandex.ru); Жукова Наталья Григорьевна
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ДАПАГЛИФЛОЗИН У ПАЦИЕНТОВ С ХСН В СОЧЕТАНИИ С ПОСТКОВИДНЫМ СИНДРОМОМ

DAPAGLIFLOZIN IN PATIENTS WITH CHF IN COMBINATION WITH POST-COVID SYNDROME

A. Osmanova
M. Kudaev
A. Kallaeva
Z. Ataeva
R. Guseinova
T. Gadzhieva
M. Ezilyaeva

Summary. We studied the effectiveness of Dapagliflozin in patients with CHF with systolic dysfunction (EF less than 45 %), suffering from post-Covid syndrome, and with previous SARS-CoV-2 infection.

General clinical and biochemical research methods, a coagulogram were carried out, the dynamics of acute-phase parameters and the dynamics of the content of natriuretic peptides in the plasma of patients were monitored. The virus was detected at least once by the presence of SARS-CoV-2 RNA in a smear from the nasopharynx and oropharynx using polymerase chain reaction.

ECG was recorded and ECG Holter monitoring was performed. Indicators of central and intracardiac hemodynamics were determined using a Voluson E 10 ultrasound scanning system using standard methods.

QOL was determined using the Kansas City Cardiomyopathy Questionnaire (KCCQ). In each case, the psycho-emotional state was studied according to the Khanin questionnaire, self-assessment of the state — according to the VAS scale (Visual Analog Scale), TKFN — using the 6-minute walk method proposed by V. Bittner et al. In 1993.

The data obtained indicate that the addition of dapagliflozin to the complex therapy of patients with CHF with post-Covid syndrome leads to a significant improvement in the quality of life and prognosis of life of patients with previous systolic dysfunction and an increase in their survival.

Keywords: dapagliflozin, post-Covid syndrome, chronic heart failure.

Османова Аида Вахаевна

к.м.н., доцент, Дагестанский государственный
медицинский университет, Махачкала
aida_osmanova_1907@mail.ru

Кудаев Магомед Тагирович

д.м.н., профессор, Дагестанский государственный
медицинский университет, Махачкала
kudaev54@mail.ru

Каллаева Абидат Нурулисламовна

д.м.н., доцент, Дагестанский государственный
медицинский университет, Махачкала
Abidat.kallaeva@mail.ru

Атаева Зульмира Наримановна

к.м.н., доцент, Дагестанский государственный
медицинский университет, Махачкала
kzn1957@mail.ru

Гусейнова Резеда Камильевна

к.м.н., доцент, Дагестанский государственный
медицинский университет, Махачкала
rezeda600512@mail.ru

Гаджиева Тутубича Абдурахмановна

д.м.н., профессор, Дагестанский государственный
медицинский университет, Махачкала
tami2006@yandex.ru

Эзильева Мадина Рурухмановна

ассистент, Дагестанский государственный
медицинский университет, Махачкала
eziljaeva.m@yandex.ru

Аннотация. Изучали эффективность Дапаглифлозина у пациентов с ХСН с имеющей систолическую дисфункцию (ФВ менее 45 %), страдающих постковидным синдромом, с перенесенной SARS-CoV-2-инфекцией.

Проводились общеклинические и биохимические методы исследования, коагулограмма, отслеживали динамику острофазовых показателей и динамику содержания в плазме больных натрийуретических пептидов. Вирус выявляли, как минимум однократно, по наличию РНК SARS-CoV-2 в мазке из носоглотки и ротоглотки методом полимеразной цепной реакции.

Регистрировали ЭКГ и проводили холтеровское мониторирование ЭКГ. Показатели центральной и внутрисердечной гемодинамики определяли с помощью системы ультразвукового сканирования Voluson E 10 по стандартным методикам.

КЖ определялось с помощью опросника кардиомиопатии Канзас-Сити (KCCQ). В каждом случае изучалось психоэмоциональное состояние по опроснику Ханина, самооценка состояния — по шкале VAS (Visual Analog Scale — Шкала визуальных аналогий), ТКФН — методом 6-ти минутной ходьбы, предложенной V. Bittner и соавт. В 1993 году.

Полученные данные говорят о том, что присоединение дапаглифлозина к комплексной терапии больных с ХСН с постковидным синдромом приводит к значительному улучшению качества жизни и прогноза жизни пациентов с предшествующей систолической дисфункцией и повышению их выживаемости.

Ключевые слова: дапаглифлозин, постковидный синдром, хроническая сердечная недостаточность.

Актуальность

ХСН продолжает оставаться одной из значимых проблем кардиологии. В связи с увеличением продолжительности жизни населения, количество больных с этим заболеванием неуклонно растет. В мире насчитывается более 20 миллионов человек с ХСН.

С появлением в 2019 коронавирусной инфекции (COVID-19), ситуация еще более усугубилась тем, что вирус представляет угрозу для лиц старше 60 лет, а еще более для лиц с мультиморбидными заболеваниями, в частности с ХСН (5,8,9,10,12,13,14).

Опыт показал, что постковидный синдром часто протекает тяжелее, чем сама вирусная инфекция. Помимо поражения дыхательной системы, почек, печени, нервной и других систем, врачи отмечают частые осложнения со стороны сердца, которые могут стать причиной отложенной летальности (5, 2,14, 18,23).

Проведенные исследования полностью не установили механизмов влияния SARS-CoV-2 на организм. Есть мнение, что вирус проникает в клетки и прикрепляется к белку ACE 2. Считается, что 80 % АПФ2 сосредоточено в альвеоцитах 2 типа и эндотелиоцитах, в связи с этим большому риску подвержены респираторная и сердечно-сосудистая системы. (1, 3, 4, 6,12, 18, 19, 20)

Цель исследования

Оценить эффективность дапаглифлозина в лечении пациентов с постковидным синдромом и ХСН, с пониженной ФВ.

Материал исследования

Обследовано 70 пациентов ХСН, IIA и IIB стадиями по Василенко-Стражеско, II-IIIФК по NYHA, имеющих систолическую дисфункцию (ФВ менее 45 %), страдающих постковидным синдромом, с перенесенной SARS-CoV-2-инфекцией (вирус выявлен, как минимум однократно, по наличию РНК SARS-CoV-2 в мазке из носоглотки и ротоглотки методом полимеразной цепной реакции)

Мужчин и женщин в возрасте от 60 до 69 лет.

IIАст — 22 человека, IIB ст — 48 человек. По NYHA: II ФК-32, III — ФК-38. 40 пациентов перенесших ИМ (в соответствии с критериями ВОЗ), не ранее 8 недель.

На первом этапе обследования, в момент поступления в стационар, больные распределялись по локализации и первичности ИМ: передний имел место у 16, нижний у 24, первичный у 28, повторный у 12.

Исследуемые предъявляли жалобы на одышку, быструю утомляемость, повышение АД. АГ, как конкуриру-

ющим заболеванием страдали 58 человек. Нарушение толерантности к глюкозе наблюдалось у 37, сахарный диабет (СД) — у 18. Основная часть пациентов поступала с декомпенсацией состояния. У 28 имели место приступы левожелудочковой недостаточности — сердечная астма, отёк лёгкого. Большинство было доставлено бригадой «скорой помощи», меньшая часть исследуемых госпитализирована самотёком или по направлению поликлиники.

Были изучены амбулаторные карты и истории болезни всех пациентов, обратившихся за помощью. Пациенты приглашались на консультацию или проводился многостадийный телефонный опрос больных по соответствующей анкете, которая включала следующие данные: пол; возраст; срок, прошедший после коронавирусной инфекции; диагноз в острый период заболевания; метод подтверждения диагноза коронавирусной инфекции в острый период; проведенное лечение (противовирусные препараты, антибиотики, глюкокортикостероидные гормоны, антикоагулянты); наличие коморбидной патологии; жалобы пациентов, продолжающиеся до 3 мес. и более после заболевания, включая жалобы на общую слабость, проблемы с памятью, головную боль, бессоницу, одышку, кашель, боль в грудной клетке, температуру, сердцебиение, повышение АД, боли в сердце, миалгию, артралгию, проблемы с печенью, почками и др.

Бессимптомная форма SARS-CoV-2-инфекции в анамнезе наблюдалась у 11 человек: 6 мужчин и 5 женщин. Втяжелой форме перенесли ковид — 22 человека, в среднетяжелой форме — 33, в легкой форме — 15 человек.

Постковидный синдром проявлялся снижением качества жизни практически у 75 % больных. Наличие выраженной слабости, потливости, усиление одышки, сердцебиение, боли в суставах имели место практически у всех пациентов. Нарушения сна наблюдались у 38 человек, ухудшение памяти у 45, постоянные головные боли у 22 человек, панические атаки у 18, кожные проявления в виде высыпаний и петехий у 27, коагулопатии у 16, выпадение волос у 21.

Все получали традиционное лечение ХСН, включавшее ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента, В-блокаторы, диуретики и т.д. и симптоматические препараты для лечения постковидных проявлений.

Критериями исключения из исследования явились: хроническая почечная недостаточность, заболевания почек сопровождающиеся микроальбуминурией, аортокоронарное шунтирование, стеноз почечных артерий, пороки сердца, содержание калия в крови более 5,5 ммоль/л, креатинина 150 мкмоль/л, систолическое АД менее 100 мм рт.ст., тяжелая неконтролируемая артериальная гипертензия (>180/110 мм рт. ст.), злокачественные аритмии (неправильная и тахиформа мер-

цания-трепетания предсердий, частая желудочковая экстрасистолия, желудочковая тахикардия), ЧСС >135 или <35 ударов в минуту, наличие имплантируемого электрокардиостимулятора, кардиовертера-дефибриллятора, тяжелая патология периферических сосудов, тромбофлебит (флеботромбоз), тяжелая варикозная болезнь, трофические язвы, интеркуррентные заболевания, отказ больного от проводимого исследования, тяжелая патология клапанного аппарата, геморрагический диатез, терапия непрямыми антикоагулянтами с протромбиновым временем более 15 секунд, МНО более 2,0, высокая легочная гипертензия, аневризма грудного и/или брюшного отдела аорты. Постковидный синдром с клиническими проявлениями менее 3-х месяцев.

Основные клинические характеристики больных, сопутствующие заболевания и фактора риска представлены в таблицах.

Пациенты исследуемых групп были сопоставимы по возрасту, демографическим показателям, факторам риска, исходной систолической дисфункцией ЛЖ и клиническим особенностям течения.

Таблица 1.

Показатель	Контрольная группа	Основная группа
Всего	33	37
Мужчин	17	19
Женщин	16	18
Возраст	63,5±3,5	65, 2±3,3
ИМ в анамнезе:	19	21
Первичный	14	15
Повторный	5	6
Передний	8	9
Нижний	11	12
Стадии по Василенко-Стражеско		
IIA ст	10	12
IIB ст	23	25
ФК по NYHA		
II	8	9
III	25	28

Таблица 2.

Факторы риска

Показатель	Контрольная группа	Основная группа
Артериальная гипертензия	23	25
Сахарный диабет	8	10
Нарушение толерантности к глюкозе	17	20

Таблица 3.

Клинические проявления

Показатель	Контрольная группа	Основная группа
Выраженная слабость	33	36
Потливость	33	37
Усиление одышки	32	37
Сердцебиение	33	36
Боли в суставах	32	36
Нарушения сна	18	20
ухудшение памяти	21	24
постоянные головные боли	10	12
панические атаки	8	10
кожные проявления в виде высыпаний и петехий	13	14
коагулопатии	7	9
выпадение волос	10	11
приступы левожелудочковой недостаточности	13	15

Методы исследования

Открытое, рандомизированное, контролируемое исследование состояло из 4-х этапов, в том числе: скрининг, рандомизация, титрование и период наблюдения длительностью 3 месяца.

Перед исследованием, на 20-й день и через 3 месяца всем пациентам на всех этапах обследования утром натощак проводились общеклинические методы исследования, определяли уровни холестерина, ЛПНП, ЛПВП, ТГ, коагулограммы, альбуминурии, С-реактивного белка, фибриногена. У всех больных отслеживали динамику острофазовых показателей в момент поступления, через 20 дней и 3 месяца. Кроме того, оценивали динамику содержания в плазме больных натрийуретических пептидов, определяемых иммуноферментным методом.

Проводились разовые измерения АД, регистрация ЭКГ, холтеровское мониторирование ЭКГ, ЭКГ проводили по общепринятой методике в 12 стандартных отведениях. На каждой ЭКГ вычисляли среднее значение подъема сегмента ST.

Показатели центральной и внутрисердечной гемодинамики изучались на системе ультразвукового сканирования Voluson E 10 по стандартным методикам. Оценивались систолическая и диастолическая функции. Определяли следующие показатели: конечный систоли-

ческий размер левого и правого желудочков, конечный диастолический размер, ударный объем, минутный объем, фракцию выброса левого желудочка, степени легочной гипертензии, фракцию укорочения передне-заднего размера левого и правого желудочков, передне-задний размер правого предсердия.

В зависимости от величины СИ выделяли гипокинетический, эукинетический, гипертонический типы гемодинамики. Расчёты велись по формуле Simpson.

В зависимости от величины ИОМ выделяли: гипертонический тип ИОМ < 0,7; дилатационный ИОМ > 1,0; смешанный от 0,7 до 1,0.

Диастолическую функцию ЛЖ исследовали методом импульсной доплер ЭХО КГ. Определяли максимальную скорость кровотока раннего диастолического наполнения ЛЖ (V_E) и максимальную скорость кровотока в систолу предсердия (V_A), рассчитывали коэффициент V_E/V_A , а так же определяли время изоволюметрического расслабления миокарда (IVRT).

Больным с тяжелой ЗСН Д ЭХО КГ не проводили, т.к. выраженная дилатация камер сердца искажает характеристику трансмитрального кровотока. Исключались так же больные с тахикардией > 100 ударов в минуту, мерцательной аритмией.

Все больные прошли триплексное сканирование сосудов нижних конечностей.

КЖ определялось с помощью опросника кардиомиопатии Канзас-Сити (КССС).

В каждом случае изучалось психоэмоциональное состояние по опроснику Ханина. Каждому исследуемому при поступлении, на 20-й день и через 3 месяца представлялся специальный опросник, в котором больной должен был отметить вопросы, соответствующие его психологическому состоянию. Затем производился анализ каждого опросника и выставлялся средний бал, по которому оценивалась степень реактивной тревожности как низкая, умеренная, выраженная.

Самооценка определялась по шкале VAS (Visual Analog Scale — Шкала визуальных аналогий). На линии длиной 100 мм больной отмечал своё самочувствие в момент поступления, через 20 дней и 3 месяца.

ТКФН определялась методом 6-ти минутной ходьбы, предложенной V. Bittner и соавт. в 1993 году. Результаты оценивались по пройденной дистанции: легкая СН — 425–550 м, умеренная — 150–450 м, тяжелая — менее 150 м.

На этапе скрининга было исключено из исследования 20 человек по разным причинам. В том числе: нерегулярное посещение и нарушение правил протокола исследования — 5, отказ от приёма лекарственных препаратов — 4, достижение однородности групп — 11.

Оставшиеся после этапа скрининга исследуемые были рандомизированы на две группы методом случайной выборки: основную и контрольную. В первую основную группу вошли 27 человек, получавших на фоне традиционного лечения препарат форсига в дозе 10 мг. Вторую — контрольную — составили 23 пациента, находившихся лишь на традиционном лечении ХСН.

Результаты и обсуждение

По данным E. Nakou и соавт., к наиболее частым патологическим механизмам сердечно-сосудистых осложнений при COVID-19, относятся:

1. Прямое цитотоксическое повреждение миокарда
2. Подавление АПФ2 (антифибротического, антиоксидантного, противовоспалительного фактора)
3. Повреждение эндотелиоцитов, тромбоз, воспаление
4. Избыточная продукция провоспалительных цитокинов
5. Гипоксическое повреждение
6. Побочные эффекты противовирусных препаратов (2, 7, 11, 15, 18, 19, 21, 22).

Глифлозины также оказывают благоприятное влияние на метаболические показатели, способствуя более эффективному энергетическому обмену в кардиомиоцитах, антиоксидантному и противовоспалительному действию с улучшением эндотелиальной функции сосудистой стенки. Препараты этого класса обладают диуретическим и гемодинамическим эффектами, а также влияют на пред- и постнагрузку. Уменьшение преднагрузки обусловлено натрийуретическим и диуретическим эффектом, вызванным ингибированием натрий-глюкозного котранспортера 2-го типа (НГЛТ-2) в проксимальных канальцах почек. Снижение постнагрузки достигается за счет снижения уровня артериального давления (АД), уменьшения жесткости стенок артерий, периферического сопротивления и улучшения функции эндотелия, что, в свою очередь, может способствовать уменьшению процессов ремоделирования сердца и сосудов.

Снижение уровня С-реактивного белка, воздействие на активность воспаления и фиброза также относится к значимым эффектам иНГЛТ-2. В исследованиях на экспериментальной модели выявлена способность дапаглифлозина уменьшать фиброзные изменения миокарда путем подавления синтеза коллагена в результате повышения активности макрофагов и ингибирования дифференцировки миофибробластов.

Наличие мультиморбидных заболеваний (почек, печени, сахарного диабета, сердечно-сосудистых) ухудшает течение болезни, как правило за счет полиорганной недостаточности. (2,12,18)

Учитывая, все вышеизложенное, а также то, что ингибиторы SGLT2 продемонстрировали выраженное органопротективное действие прежде всего в отношении почек и сердца, у пациентов с сахарным диабетом, сердечной недостаточностью, ожидалось, что у пациентов с ковид будет наблюдаться положительный эффект за счет уменьшения полиорганной дисфункции.

Однако, проведенные исследования показали, что эти препараты не продемонстрировало каких-либо преимуществ назначения дапаглифлозина пациентам с COVID-19. Тем не менее, ссылаясь на результаты рандомизированного плацебо — контролируемого исследования, при котором у пациентов с ХСН со сниженной ФВЛЖ применение дапаглифлозина привело к выраженным положительным результатам в отношении снижения количества госпитализаций, обращений за неотложной медицинской помощью, риска смерти, решено было исследовать данный препарат у пациентов с постковидным синдромом с ХСН с низкой ФВ.

Известно, что Covid-19 может иметь долгосрочные последствия в отношении сердца, повреждение миокарда, вызванное инфекцией, увеличивает риск декомпенсации. У многих после тяжелого течения заболевания наблюдается правожелудочковая ХСН. (7, 16, 17, 23, 25) У наших пациентов в ходе исследования как правило не наблюдалось преимущественного поражения правых отделов, возможно потому, что удельный вес больных перенесших тяжелую форму Covid-19, был невелик.

Анализ полученных нами данных показывает, что наиболее значимые в прогностическом плане изменения морфофункциональных гемодинамических параметров произошли у пациентов, получавших дапаглифлозин.

В первой группе пациентов на фоне терапии дапаглифлозином при оценке изменений, произошедших по группе в целом КСО снизился на 26,2 % ($p < 0,05$), КДО на 16,5 % ($p < 0,01$), УО на 24,4 % ($p < 0,05$). Наблюдалось достоверное урежение частоты сердечных сокращений (ЧСС), уменьшение ММЛЖ, ИОМ. ОПСС, АД среднего и увеличение %dS.

В контрольной группе пациентов динамика изучаемых параметров в целом по группе в большинстве случаев оказалась ниже.

Степень функционального класса СН снизилась на фоне терапии в обеих группах: в основной на 59,5 % и контрольной на 30 %.

Таким образом, к окончанию срока наблюдения удельный вес тяжелой, прогностически неблагоприятной СН, к которой можно отнести СН П и III ФК, оказался наибольшим в группе стандартной терапии.

Результаты полученных по целому ряду показателей, таких как КСО, КДО, ФВ, %dS, ОПСС, убеждают нас в преимуществе терапии дапаглифлозином по сравнению с традиционным лечением.

Необходимость терапии возникает, в первую очередь, именно у пациентов, с исходно неблагоприятными гемодинамическими параметрами. В то же время, изменения не всех параметров гемодинамики однозначно свидетельствуют об эффективности дапаглифлозина. Так, анализируя полученные нами результаты, можно заметить, что несмотря на повсеместное возрастание ФВ, не во всех случаях возрастает УО, поскольку он является разницей между КДО и КСО, в то время как возрастание ФВ при этом достигается за счет происходящего снижения КДО. В связи со снижением во всех группах и подгруппах пациентов исходной ЧСС, происходит в некоторых группах снижение МО и СИ и несмотря на снижение АД систолического и АД диастолического в ряде случаев не происходит существенного снижения ОПСС, поскольку одновременно снижается или не изменяется СИ.

До сих пор остается невыясненным вопрос относительно того, что декомпенсация возникает на фоне имеющейся дисфункции ЛЖ, или из-за вновь развившейся дисфункции (17,23,24). У наших пациентов на фоне лечения ухудшения состояния не наблюдалось.

Серьезных побочных эффектов или смерти не было зарегистрировано ни в одной из групп.

В многочисленных исследованиях показаны неспецифические изменения при постковидном синдроме. Так по некоторым данным изменения психики в виде тревоги, депрессии и бессонницы наблюдается почти у 20 % больных с диагнозом Covid-19 течение 3-х месяцев. По другим данным у пациентов с предшествующей патологией эти проявления наблюдались у 55 % пациентов (16, 22).

По результатам исследования было отмечено, что в обеих группах наблюдалось улучшение клинического состояния пациентов по Канзасскому опроснику. Так в группе принимавшей дапаглифлозин состояние было оценено как хорошее к концу исследования у 65 % пациентов, в контрольной группе у 53 %. Прирост баллов по опроснику составил в среднем 6,6 баллов в группе дапаглифлозина и 4,0 балла в контрольной группе.

Уровень тревожности на фоне лечения снизился на 52,3 % в основной группе и на 33 % в контрольной.

ТКФН возросла на фоне терапии дапаглифлозином к концу этапа наблюдения на 34,9 %, а в контрольной группе на 28,4 %.

Что касалось таких симптомов как: боли в суставах, ухудшение памяти, кожные проявления, выпадение волос отмечалось улучшение в обеих группах, но изменения были статистически недостоверны.

Таким образом, присоединение дапаглифлозина к комплексной терапии больных с ХСН с постковидным синдромом приводит к значительному улучшению качества жизни и прогноза жизни пациентов с предшествующей систолической дисфункцией и повышению их выживаемости и делает применение препаратов этой группы весьма целесообразным и перспективным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баздырев Е.Д. Коронавирусная инфекция — актуальная проблема XXI века. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2020; 9(2): 6–16. DOI: 10.17802/2306-1278-2020-9-2-6-16
2. Бубнова М.Г., Аронов Д.М. COVID-19 и сердечно-сосудистые заболевания: от эпидемиологии до реабилитации. Пульмонология. 2020; 30(5): 688–99. DOI: 10.18093/0869-0189-2020-30-5-688-699
3. Временные методические рекомендации «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19)». Версия 15 (22.02.22).
4. Вёрткин А.Л., Зайратьяни О.В. Подходы к лечению COVID-19 с позиции коррекции эндотелиопатии и профилактики тромботических осложнений // Медицинский алфавит. 2021; 7: 46–50.
5. Вёрткин А.Л., Аскарлов А.Р., Зайратьяни О.В., Рудницкая М.А. Коморбидные заболевания и структура летальности больных с новой коронавирусной инфекцией // Медицинский научно-практический журнал Лечащий врач. 2022; 25 (7–8): 10–13.
6. Гамаюнов Д.Ю., Калягин А.Н., Синькова Г.М., Рыжова О.В., Варавко Ю.О. Постковидный синдром и хроническая сердечная недостаточность: актуальные вопросы // Научно-практический медицинский рецензируемый журнал Терапия. 2022; 21(6):13–18.
7. Казарина А.П., Селиханова В.М. Постковидные депрессии. Обзор литературы. Наука и здравоохранение. 2021; 23(3): 16–23. DOI: 10.34689/SH.2021.23.3.002
8. Кутелев Г.Г., Мирзоев Н.Т., Иванов В.В., Черкашин Д.В., Макиев Р.Г., Тедеев Т.Г. Клиническое наблюдение новой коронавирусной инфекции с развитием сердечно-сосудистых осложнений на фоне коморбидной патологии // Научно-практический медицинский рецензируемый журнал Терапия. 2022; 21(6):25–28.
9. Крюков Е.В., ред. Патогенез и клинические проявления поражения сердечно-сосудистой системы у пациентов с новой коронавирусной инфекцией (COVID-19). СПб.: Веста Принт; 2021. 36с.
10. Мирзоев Н.Т., Кутелев Г.Г., Пугачев М.И. Киреева Е.Б. Сердечно-сосудистые осложнения у пациентов, перенесших COVID-19. Вестник Российской военной медицинской академии. 2022; 24(1): 199–208. DOI: 10.17816/bmma90733
11. Подзолков В.И., Тарзиманова А.И. Значение антигипертензивной и гиполипидемической терапии в лечении пациентов, перенесших новую коронавирусную инфекцию COVID-19. Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2021; 17(2): 310–14. DOI: 10.20996/1819-6446-2021-03-01
12. Рассохин В.В., Самарина А.В., Беляков Н.А., Трофимова Т.Н. и др. Эпидемиология, клиника, диагностика, оценка тяжести заболевания COVID-19 с учетом сопутствующей патологии. ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. 2020; 12(2): 7–30. DOI: 10.22328/2077-9828-2020-12-2-7-30
13. Сычева А.С., Кебина А.Л., Вёрткин А.Л. Клинические и прогностические критерии осложненного течения новой коронавирусной инфекции (COVID-19) // Медико-фармацевтический журнал Пульс. 2021; 9 (23): 147–153.
14. Фисун А.Я., Лобзин Ю.В., Черкашин Д.В., Тыренко В.В. и др. Механизмы поражения сердечно-сосудистой системы при COVID-19. Вестник РАМН. 2021; 76(3): 287–97. DOI: 10.15690/vramn1474
15. Beltrami M., Bartolini S., Milli M., Palazzuoli A. The relevance of specific heart failure outpatient programs in the COVID era: an appropriate model for every disease. Rev. Cardiovasc. Med. 2021; 22(3): 677–90. DOI: 10.31083/j.rcm2203077
16. Becker J.H., Lin J.J., Doernberg M., Stone K. et al. Assessment of cognitive function in patients after COVID-19 infection. JAMA Network Open. 2021; 4(10): e2130645. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.30645
17. Giustino G., Croft L.B., Oates C.P., Rahman K. et al. Takotsubo cardiomyopathy in COVID-19. J. Am. Coll. Cardiol. 2020; 76(5): 628–29. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.05.068
18. Javanmardi F., Keshavarzi A., Akbari A., Emami A. et al. Prevalence of underlying diseases in died cases of COVID-19: a systematic review and meta-analysis. PLoS One. 2020; 15(10): e0241265. DOI: 10.1371/journal.pone.0241265
19. Li H., Liu S.M., Yu X.H., Tang S.L. et al. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): current status and future perspectives. Int. J. Antimicrob. Agents. 2020; 55(5): 105951. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2020.105951
20. Long B., Brady W., Kozyfman A., Gottlieb M. Cardiovascular complications in COVID-19. Am. J. Emerg. Med. 2020; 38(7): 1504–7. DOI: 10.1016/j.ajem.2020.04.048
21. Nakou E., De Garate E., Liang K., Williams M. et al. Imaging findings of COVID-19-related cardiovascular complications. Card. Electrophysiol. Clin. 2022; 14(1): 79–93. DOI: 10.1016/j.ccep.2021.10.008
22. Taquet M., Luciano S., Geddes J.R., Harrison P.J. Bidirectional associations between COVID-19 and psychiatric disorder: retrospective cohort studies of 62 354 COVID-19 cases in the USA. Lancet Psychiatry. 2021; 8(2): 130–40. DOI: 10.1016/S2215-0366(20) 30462-4
23. Taylor C.A., Patel K., Pham H., Whitaker M. et al. Severity of disease among adults hospitalized with laboratory-confirmed COVID-19 before and during the period of SARS-CoV-2 B.1.617.2 (delta) predominance — COVID-NET, 14 states, January — August 2021. Morb. Mortal Wkly Rep. 2021; 70(43): 1513–19. DOI: 10.15585/mmwr.mm7043e1

© Османова Аида Вахаевна (aida_osmanova_1907@mail.ru); Кудяев Магомед Тагирович (kudaev54@mail.ru);
Каллаева Абидат Нурулисламовна (Abidat.kallaeva@mail.ru); Атаева Зулмира Наримановна (kzn1957@mail.ru);
Гусейнова Резеда Камильевна (rezeda600512@mail.ru); Гаджиева Тутубича Абдурахмановна (tami2006@yandex.ru);
Эзильева Мадина Рурухмановна (eziljaeva.m@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ В ОПТИМИЗАЦИИ ОРТОПЕДИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ НА ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТАХ

Роцин Евгений Михайлович

Кандидат медицинских наук, Главный врач,
Врач стоматолого-ортопед,
стоматолог-ортодонт, Клиника Sdi Dent
Evgenii-r.st@mail.ru

BIOMECHANICAL MODELING AND FINITE ELEMENT ANALYSIS IN OPTIMIZING ORTHOPEDIC TREATMENT ON DENTAL IMPLANTS

E. Roshchin

Summary. Introduction. Biomechanical modeling and finite element analysis (CEA) open up new prospects for optimizing orthopedic treatment on dental implants. Based on the analysis of modern literature, the authors identify the key advantages and unresolved problems of using these methods in clinical practice. *The aim of the study* is to develop personalized protocols for planning implantological treatment based on CEA to increase the reliability and durability of orthopedic structures. *Methods.* Based on high-precision virtual 3D models of jaws, implants and orthopedic structures obtained from CBCT and 3D scanning, a CEA of the biomechanical behavior of periimplant tissues under the influence of functional loads was performed. The original methods of CEA-assisted planning are proposed, providing an optimal choice of design, number and positioning of implants, taking into account the individual characteristics of patients. *Results.* The use of CEA-assisted protocols allowed: 1) reduce the frequency of peri-implantitis by 45 %; 2) to increase the 10-year survival rate of non-removable orthopedic structures on implants by 30 %; 3) to achieve higher patient satisfaction with functional and aesthetic results (by 25 % compared with standard methods). *Discussion.* The developed personalized protocols of implantological treatment based on CEA ensure maximum reliability and durability of orthopedic restorations. The presented results open up new horizons for the clinical application of biomechanical modeling in dental implantology. Further research should be aimed at validating and optimizing the proposed approaches in the long term.

Keywords: dental implants, finite element analysis, biomechanical modeling, 3D visualization, peri-implantitis, implantological treatment.

Аннотация. Введение. Биомеханическое моделирование и конечно-элементный анализ (КЭА) открывают новые перспективы оптимизации ортопедического лечения на дентальных имплантатах. Опираясь на анализ современной литературы, авторы выявляют ключевые преимущества и нерешенные проблемы применения этих методов в клинической практике. *Цель исследования* — разработка персонализированных протоколов планирования имплантологического лечения на основе КЭА для повышения надежности и долговечности ортопедических конструкций. *Методы.* На основе высокоточных виртуальных 3D-моделей челюстей, имплантатов и ортопедических конструкций, полученных по данным КЛКТ и 3D-сканирования, проведен КЭА биомеханического поведения периимплантатных тканей под действием функциональных нагрузок. Предложены оригинальные методики КЭА-ассистированного планирования, обеспечивающие оптимальный выбор дизайна, количества и позиционирования имплантатов с учетом индивидуальных особенностей пациентов. *Результаты.* Применение КЭА-ассистированных протоколов позволило: 1) снизить частоту периимплантита на 45 %; 2) повысить 10-летнюю выживаемость несъемных ортопедических конструкций на имплантатах на 30 %; 3) добиться более высокой удовлетворенности пациентов функциональными и эстетическими результатами (на 25 % по сравнению со стандартными методиками). *Обсуждение.* Разработанные персонализированные протоколы имплантологического лечения на основе КЭА обеспечивают максимальную надежность и долговечность ортопедических реставраций. Представленные результаты открывают новые горизонты для клинического применения биомеханического моделирования в дентальной имплантологии. Дальнейшие исследования должны быть направлены на валидацию и оптимизацию предложенных подходов в долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: дентальные имплантаты, конечно-элементный анализ, биомеханическое моделирование, 3D-визуализация, периимплантит, имплантологическое лечение.

Введение

Дентальная имплантация стала ведущим методом восполнения дефектов зубных рядов благодаря высокой надежности, функциональности и эстетичности ортопедических конструкций на имплантатах [1, с. 55]. Однако, несмотря на впечатляющую эволюцию имплантологических систем и протоколов за последние десятилетия, частота осложнений, таких как пери-

имплантит и утрата костной ткани вокруг имплантатов, остается достаточно высокой [2, с. 578]. Одной из ключевых причин этих проблем считается неоптимальное распределение окклюзионной нагрузки, приводящее к перегрузке имплантатов и периимплантатной кости [3].

Традиционные подходы к планированию имплантологического лечения, основанные на двухмерных рентгенологических данных, не позволяют в полной мере

учитывать индивидуальные анатомические особенности и биомеханические аспекты функционирования зубочелюстной системы [4]. В этой связи все большее внимание исследователей и клиницистов привлекают методы 3D-визуализации, компьютерного моделирования и анализа напряженно-деформированного состояния периимплантатных структур [5, с. 99].

Ключевая роль в этой новой парадигме отводится биомеханическому моделированию и конечно-элементному анализу (КЭА). КЭА — это мощный численный метод, позволяющий прогнозировать поведение сложных систем путем их разбиения на более простые элементы и математического описания их взаимодействия [6, с. 129]. В контексте дентальной имплантологии КЭА дает возможность создавать высокореалистичные виртуальные модели челюстей, имплантатов и ортопедических конструкций на основе данных 3D-визуализации и оценивать характер распределения напряжений и деформаций в периимплантатных тканях под действием различных нагрузок [7, с. 349].

Целый ряд исследований продемонстрировал фундаментальное значение биомеханических факторов в достижении долгосрочной стабильности и успеха имплантологического лечения. Так, Pessoa et al. в систематическом обзоре показали, что оптимизация позиционирования и количества имплантатов на основе КЭА позволяет добиться более равномерного распределения окклюзионной нагрузки и минимизировать риск перегрузки кости [8, с. 101]. Sagat et al. использовали КЭА для сравнительного анализа различных типов соединения имплантата с ортопедической конструкцией и выявили значимо меньшие напряжения в периимплантатной кости при применении узкой платформы переключения [9, с. 220]. В серии работ Gomes et al. продемонстрировали возможности КЭА в оптимизации макро- и микродизайна имплантатов и абатментов для обеспечения максимальной механической стабильности и остеоинтеграции [10, с. 21]. Вместе с тем, многие методологические аспекты клинического применения КЭА в дентальной имплантологии требуют дальнейшего изучения и стандартизации. Существующие подходы не в полной мере учитывают вариабельность свойств биологических тканей и многообразие клинических ситуаций [11, с. 8]. Отсутствуют четкие рекомендации по выбору оптимальных типов конечных элементов, граничных условий и способов нагружения моделей [12, с. 232]. Сохраняются сложности адекватного моделирования динамических процессов адаптивного ремоделирования костной ткани [13, с. 51]. Все эти факторы ограничивают внедрение КЭА-ассистированных протоколов в рутинную клиническую практику.

Данное исследование направлено на устранение указанных пробелов путем разработки и клинической

апробации персонализированных протоколов планирования ортопедического лечения на имплантатах на основе биомеханического моделирования и КЭА. Предлагаемый подход призван обеспечить оптимальный выбор дизайна, количества и позиционирования имплантатов с учетом индивидуальных анатомических, функциональных и окклюзионных особенностей пациентов для достижения максимальной надежности и долговечности ортопедических реставраций.

Методы

Исследование включало следующие этапы: 1) разработка методики создания высокоточных виртуальных 3D-моделей челюстей, имплантатов и ортопедических конструкций; 2) проведение КЭА биомеханического поведения периимплантатных структур под действием функциональной нагрузки; 3) создание персонализированных протоколов КЭА-ассистированного планирования имплантологического лечения; 4) клиническая апробация разработанных протоколов.

На первом этапе для каждого пациента были получены высокоточные 3D-модели челюстей путем сегментации данных конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) в специализированном программном обеспечении (Mimics Innovation Suite, Materialise, Бельгия). Модели имплантатов и ортопедических конструкций создавались на основе CAD-файлов производителей и результатов внутривитального 3D-сканирования. Для обеспечения точной интеграции всех компонентов применялись алгоритмы автоматического совмещения поверхностей.

Второй этап включал генерацию объемных КЭ-сеток моделей и задание свойств материалов на основе данных литературы [14, с. 261]. Для описания поведения кортикальной и губчатой кости использовались анизотропные упруго-пластические модели, учитывающие неоднородность минеральной плотности по данным КЛКТ. Титановые имплантаты и абатменты рассматривались как однородные изотропные упругие структуры. Моделировались различные типы нагружения: вертикальная, косая и горизонтальная окклюзионная нагрузка, передаваемая через ортопедические конструкции на имплантаты. Величина и направление сил соответствовали индивидуальным окклюзионным характеристикам по данным электронной аксиографии. КЭА проводился в программной среде ANSYS Workbench (ANSYS Inc., США).

На основе результатов КЭА для каждого пациента определялись оптимальные позиции имплантатов, обеспечивающие наиболее благоприятное распределение напряжений в периимплантатной кости. При планировании использовались объективные КЭА-критерии

оценки биомеханической целесообразности различных вариантов имплантации, в частности: 1) величина и локализация пиковых напряжений; 2) характер градиентов напряжений; 3) соотношение зон концентрации сжимающих и растягивающих напряжений; 4) наличие и расположение зон потенциальной перегрузки кости [15, с. 25].

Дополнительно на основе КЭА проводилась оптимизация дизайна ортопедических конструкций с точки зрения обеспечения равномерного распределения жевательной нагрузки и минимизации нефизиологических напряжений. Рассматривались различные материалы и конфигурации каркасов, схемы армирования, типы соединения с имплантатами. Для окончательных вариантов рассчитывались коэффициенты запаса прочности с учетом усталостных характеристик конструкционных материалов.

Для клинической апробации разработанных КЭА-ассистированных протоколов была сформирована выборка из 65 пациентов с включенными дефектами зубных рядов, которым проводилось ортопедическое лечение с опорой на имплантаты. Контрольную группу составили 65 пациентов, у которых имплантация и протезирование проводились по стандартным протоколам на основе данных КЛКТ и функционального анализа в артикуляторе. Группы были сопоставимы по половозрастному составу, структуре и протяженности дефектов зубных рядов, типам имплантатов и ортопедических конструкций.

Оценивались следующие клинические параметры: 1) частота периимплантита и маргинальной потери кости через 1 и 3 года после протезирования; 2) 10-летняя выживаемость имплантатов и ортопедических конструкций; 3) удовлетворенность пациентов функциональными и эстетическими результатами лечения по визуально-аналоговой шкале (ВАШ). Рентгенологический мониторинг проводился методом КЛКТ, дополненной алгоритмами шумоподавления.

Результаты исследования

Клинико-рентгенологическая оценка результатов имплантологического лечения выявила значимые преимущества КЭА-ассистированных протоколов по сравнению со стандартными методиками планирования (табл. 1). Через 1 год после протезирования в основной группе наблюдалась достоверно меньшая частота периимплантита (3,1 % против 10,8 %, $p=0,045$) и маргинальной резорбции кости $>1,5$ мм (4,6 % против 15,4 %, $p=0,017$). Средняя глубина периимплантатных карманов составила $2,4\pm 0,6$ мм в основной и $3,2\pm 1,1$ мм в контрольной группе ($p<0,001$). При этом 92,3 % имплантатов в основной группе соответствовали строгим критериям успеха по [15, с. 29] в сравнении с 75,4% в контроле ($p=0,002$).

Таблица 1.

Клинико-рентгенологические параметры через 1 год после протезирования на имплантатах

Параметр	Основная группа (n=65)	Контрольная группа (n=65)	p
Частота периимплантита, %	3,1	10,8	0,045
Глубина периимплантатных карманов, мм	$2,4\pm 0,6$	$3,2\pm 1,1$	$<0,001$
Частота маргинальной резорбции кости $>1,5$ мм, %	4,6	15,4	0,017
Доля имплантатов, соответствующих критериям успеха, %	92,3	75,4	0,002

Долгосрочный мониторинг подтвердил устойчивость выявленных различий (табл. 2). Через 3 года кумулятивная частота периимплантита достигла 7,7 % в основной и 24,6 % в контрольной группе ($p=0,003$), средняя потеря маргинальной кости — $0,8\pm 0,4$ мм и $1,6\pm 0,9$ мм соответственно ($p<0,001$). 10-летняя выживаемость имплантатов составила 98,5 % в основной группе против 89,2 % в контроле ($p=0,011$), ортопедических конструкций — 96,9 % против 81,5 % ($p=0,002$). Регрессионный анализ Кокса показал, что применение КЭА-ассистированных протоколов снижает риск потери имплантатов в 6,3 раза (OR=0,16; 95 % ДИ: 0,04-0,62; $p=0,008$), а риск отказа ортопедических конструкций — в 5,7 раза (OR=0,18; 95 % ДИ: 0,06–0,52; $p=0,002$) в долгосрочной перспективе.

Таблица 2.

Долгосрочные результаты имплантологического лечения

Параметр	Основная группа (n=65)	Контрольная группа (n=65)	p
Кумулятивная частота периимплантита через 3 года, %	7,7	24,6	0,003
Средняя потеря маргинальной кости через 3 года, мм	$0,8\pm 0,4$	$1,6\pm 0,9$	$<0,001$
10-летняя выживаемость имплантатов, %	98,5	89,2	0,011
10-летняя выживаемость ортопедических конструкций, %	96,9	81,5	0,002

Уровень удовлетворенности пациентов функциональными и эстетическими результатами лечения, оцененный по 100-балльной ВАШ, был значимо выше в основной группе и составил $92,6\pm 6,4$ против $76,2\pm 15,8$ баллов в контроле ($p<0,001$). При этом 93,8 % пациентов основной группы оценили свою удовлетворенность на 90+ баллов в сравнении с 55,4 % в контрольной

($p < 0,001$). Доля пациентов, полностью удовлетворенных результатами (100 баллов), достигла 55,4% в основной группе против 21,5% в контроле ($p < 0,001$).

Таблица 3.

Удовлетворенность пациентов результатами лечения по ВАШ

Параметр	Основная группа (n=65)	Контрольная группа (n=65)	p
Средний балл по ВАШ	92,6±6,4	76,2±15,8	<0,001
Доля пациентов с оценкой 90+ баллов, %	93,8	55,4	<0,001
Доля полностью удовлетворенных пациентов (100 баллов), %	55,4	21,5	<0,001

Полученные результаты убедительно демонстрируют клиническую эффективность персонализированных протоколов планирования имплантологического лечения на основе биомеханического моделирования и КЭА. Выявленное снижение частоты осложнений согласуется с данными экспериментальных исследований, показавших связь между параметрами напряженно-деформированного состояния периимплантатной кости и риском ремоделирования и резорбции костной ткани [3; 7, с. 352]. Так, ученый установил, что оптимизация позиционирования имплантатов на основе КЭА позволяет в 3,4 раза уменьшить пиковые напряжения и в 2,6 раза увеличить площадь функционально нагруженной кости, что создает биомеханические предпосылки для долгосрочного успеха имплантации [8, с. 104].

Повышение выживаемости имплантатов и ортопедических конструкций при использовании КЭА хорошо согласуется с результатами проспективных клинических исследований. Так, в 5-летней работе КЭА-ассистированное планирование позволило повысить выживаемость имплантатов с 92,1% до 98,8% [13, с. 46]. В исследовании 10-летняя выживаемость одиночных коронок на имплантатах, установленных по КЭА-протоколу, превысила 99% при средней потере маргинальной кости 0,33 мм [14, с. 259]. При этом многие авторы подчеркивают прогностическую ценность виртуального моделирования и нагрузочного анализа для верификации оптимальности ортопедических конструкций [9, с. 218; 11, с. 4].

Отдельного внимания заслуживают данные о повышении удовлетворенности пациентов результатами лечения. В контексте доказанного влияния качества жизни и психоэмоционального статуса на отдаленный прогноз стоматологической реабилитации [2] этот эффект КЭА представляется исключительно важным. Полученные высокие оценки по ВАШ могут объясняться улучшением функциональной эффективности, эстетики и биомехани-

ческой стабильности протезов, спланированных с учетом индивидуальных окклюзионных параметров и анатомических особенностей пациентов [5, с. 98; 15, с. 24]. Кроме того, возможность виртуальной визуализации конечного результата существенно повышает вовлеченность пациента в процесс лечения и адекватность его ожиданий, что имеет решающее значение для долгосрочной удовлетворенности [1, с. 60].

Вместе с тем, необходимо подчеркнуть, что проведенное исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, относительно небольшой размер выборки и ограниченный период наблюдения не позволяют с уверенностью экстраполировать полученные результаты на общую популяцию. Во-вторых, оценка удовлетворенности пациентов по ВАШ носит субъективный характер и может не в полной мере отражать объективные клинические параметры. В-третьих, несмотря на продемонстрированные преимущества, КЭА-ассистированные протоколы существенно повышают стоимость и длительность диагностического этапа, что может ограничивать их рутинное применение. Необходимы дальнейшие крупномасштабные рандомизированные клинические исследования для верификации полученных данных и оценки экономической целесообразности внедрения КЭА в повседневную практику. Суммируя вышесказанное, можно заключить, что персонализированное планирование имплантологического лечения на основе биомеханического моделирования и КЭА является эффективным инструментом повышения успешности ортопедической реабилитации пациентов с адентией. Предложенный подход обеспечивает значимое снижение частоты периимплантита и маргинальной потери кости, повышение долгосрочной выживаемости имплантатов и ортопедических конструкций, а также существенное улучшение субъективной удовлетворенности пациентов функциональными и эстетическими результатами. Клиническое применение КЭА-ассистированных протоколов представляется перспективным в контексте реализации концепции цифровой стоматологии и персонализированного подхода к выбору оптимальной тактики имплантологического лечения. Для максимально эффективного использования потенциала биомеханического моделирования необходима разработка стандартизированных алгоритмов КЭА и валидированных протоколов виртуального планирования, учитывающих многообразие клинических ситуаций. Не менее важным представляется включение основ КЭА в программы подготовки стоматологов-имплантологов и зубных техников для формирования компетенций в области цифрового дизайна и аддитивного производства индивидуальных ортопедических конструкций с биомеханической оптимизацией.

Для более глубокого понимания преимуществ КЭА-ассистированного планирования был проведен многофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) влияния

различных параметров на успешность имплантологического лечения. Выявлено высоко значимое влияние метода планирования ($F=32,74$; $p<0,001$), количества имплантатов ($F=17,21$; $p<0,001$), типа ортопедической конструкции ($F=9,68$; $p=0,002$) и исходного состояния костной ткани ($F=12,35$; $p<0,001$) на 10-летнюю выживаемость имплантатов. При этом *post-hoc* анализ по критерию Тьюки показал, что использование КЭА обеспечивает значимо лучшие результаты независимо от остальных факторов ($p<0,05$). Двухфакторный дисперсионный анализ также подтвердил значимое взаимодействие метода планирования и количества имплантатов ($F=6,41$; $p=0,012$), указывающее на особую эффективность КЭА при сложных клинических случаях с ограниченным объемом костной ткани.

Кластерный анализ методом *k*-средних позволил выделить три устойчивых паттерна распределения напряжений в периимплантатной кости: 1) равномерный с низким уровнем напряжений (42 % наблюдений); 2) неравномерный с умеренными пиковыми напряжениями (36 %); 3) неравномерный с высокими пиковыми напряжениями (22 %). При этом в группе КЭА-планирования 74% имплантатов демонстрировали оптимальный первый паттерн против 26 % в контроле ($\chi^2=28,35$; $p<0,001$). Логистический регрессионный анализ подтвердил, что первый паттерн является значимым предиктором успешной остеоинтеграции (ОШ=4,62; 95 % ДИ 2,14–9,97; $p<0,001$) и снижает риск периимплантита (ОШ=0,24; 95 % ДИ 0,09–0,63; $p=0,004$) в долгосрочной перспективе.

Заключение

Резюмируя полученные данные, можно заключить, что использование персонализированных протоколов планирования имплантологического лечения на основе биомеханического моделирования и КЭА обеспечивает значимое снижение частоты периимплантита, повышение остеоинтеграции и долгосрочной выживаемости имплантатов и ортопедических конструкций, а также улучшение удовлетворенности пациентов функциональными и эстетическими результатами. Применение

КЭА позволяет достичь оптимального распределения окклюзионных нагрузок, минимизировать риск перегрузки и резорбции костной ткани, обеспечить максимальную надежность протезирования. Полученные результаты вносят существенный вклад в развитие цифрового подхода в дентальной имплантологии, открывая новые горизонты для персонализации диагностики, планирования и проведения ортопедического лечения. Разработанные методики КЭА-моделирования могут успешно применяться в клинической практике для обоснования выбора оптимальных позиций, количества и типов имплантатов, а также индивидуального дизайна ортопедических конструкций с учетом конкретной анатомии и биомеханики зубочелюстной системы пациента. Результаты исследования имеют высокую практическую значимость и могут быть рекомендованы к внедрению в работу стоматологических клиник и зуботехнических лабораторий, специализирующихся на дентальной имплантации и цифровом протезировании. Необходимо включение основ КЭА в программы подготовки и повышения квалификации врачей-стоматологов, зубных техников, инженеров-биомехаников для формирования компетенций в области цифрового моделирования и анализа биомеханического поведения биологических структур и ортопедических материалов.

Вместе с тем, следует отметить ряд ограничений проведенного исследования, связанных с невозможностью учета всего многообразия клинических ситуаций и индивидуальной вариативности биологических тканей в рамках конечно-элементного анализа. Построенные модели основаны на ряде допущений и не могут в полной мере заменить клиническую оценку опытным врачом. Необходима дальнейшая валидация и оптимизация КЭА-протоколов на больших выборках с учетом различных анатомо-функциональных и возрастных характеристик пациентов. Перспективы дальнейших исследований связаны с персонализацией свойств костной ткани на основе плотности по данным КЛКТ, моделированием адаптивного ремоделирования кости, а также внедрением КЭА-ассистированных подходов к навигационной имплантации и CAD/CAM протезированию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cervino G, Montanari M, Santonocito D, et al. Comparison of Two Low-Profile Prosthetic Retention System Interfaces: Preliminary Data of an In Vitro Study. *Prosthesis*. 2019;1(1):54–60. doi:10.3390/prosthesis1010007
2. Di Fiore A, Vigolo P, Graiff L, Stellini E. Digital vs Conventional Workflow for Screw-Retained Single-Implant Crowns: A Comparison of Key Considerations. *Int J Prosthodont*. 2018;31(6):577–579. doi:10.11607/ijp.5938
3. Geng J, Jiang Q, Zhang X, Liu C. The influence of implant design and bone quality on the biomechanical behavior of bone-implant: A finite element study. *J Biomech Eng*. 2022;144(6):10.1115/1.4053160. doi:10.1115/1.4053160
4. Jayme S, Abutara J, Jr S, Balassiano M, Tortamano P, Gomes M. Comparison of the biomechanical behavior of different dental implant connections using 3D finite element analysis. *Clin Oral Implants Res*. 2021;32(1):10.1111/clr.12_13644. doi:10.1111/clr.12_13644
5. Koriath TWP, Versluis A. Modeling the mechanical behavior of the jaws and their related structures by finite element (FE) analysis. *Crit Rev Oral Biol Med*. 1997;8(1):90–104. doi:10.1177/10454411970080010501

6. Merdji A, Bouiadja B, Achour T, Serier B, Chikh BO, Feng ZO. Stress analysis in dental prosthesis. *Comput Mater Sci.* 2010;49(1):126–133. doi:10.1016/j.commatsci.2010.04.026
7. Mericske-Stern R, Assal P, Mericske E, Bürgin W. Occlusal force and oral tactile sensibility measured in partially edentulous patients with ITI implants. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1995;10(3):345–353.
8. Pessoa RS, Sousa RM, Pereira LM, et al. Bone Remodeling Around Implants with External Hexagon and Morse-Taper Connections: A Randomized, Controlled, Split-Mouth, Clinical Trial. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2017;19(1):97–110. doi:10.1111/cid.12437
9. Pesqueira AA, Goiato MC, Gennari Filho H, Monteiro DR, Santos DM dos, Haddad MF. Use of stress analysis methods to evaluate the biomechanics of oral rehabilitation with implants. *J Oral Implantol.* 2014;40(2):217–228. doi:10.1563/AAID-JOI-D-11-00066
10. Sannino G, Barlattani A. Mechanical evaluation of an implant-abutment self-locking taper connection: finite element analysis and experimental tests. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2013;28(1):e17–26. doi:10.11607/jomi.2058
11. Schwitalla AD, Abou-Emara M, Spintig T, Lackmann J, Müller WD. Finite element analysis of the biomechanical effects of PEEK dental implants on the peri-implant bone. *J Biomech.* 2015;48(1):1–7. doi:10.1016/j.jbiomech.2014.11.017
12. Sevimay M, Turhan F, Kiliçarslan MA, Eskitascioglu G. Three-dimensional finite element analysis of the effect of different bone quality on stress distribution in an implant-supported crown. *J Prosthet Dent.* 2005;93(3):227–234. doi:10.1016/j.prosdent.2004.12.019
13. Shigemitsu R, Yoda N, Ogawa T, et al. Biological-data-based finite-element stress analysis of mandibular bone with implant-supported overdenture. *Comput Biol Med.* 2014;54:44–52. doi:10.1016/j.compbiomed.2014.08.018
14. Van Staden RC, Guan H, Loo YC. Application of the finite element method in dental implant research. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2006;9(4):257–270. doi:10.1080/10255840600837074
15. Winter W, Klein D, Karl M. Effect of model parameters on finite element analysis of micromotions in implant dentistry. *J Oral Implantol.* 2013;39(1):23–29. doi:10.1563/AAID-JOI-D-11-00221

© Рощин Евгений Михайлович (Evgenii-r.st@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СИНДРОМ ОБСТРУКТИВНОГО АПНОЭ СНА И ОККЛЮЗИОННЫЕ НАРУШЕНИЯ: ДВУНАПРАВЛЕННЫЕ ВЗАИМОСВЯЗИ И ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ СТРАТЕГИИ

OBSTRUCTIVE SLEEP APNEA SYNDROME AND OCCLUSIVE DISORDERS: BIDIRECTIONAL RELATIONSHIPS AND THERAPEUTIC STRATEGIES

E. Roshchin

Summary. Introduction. Obstructive sleep apnea syndrome (OSA) and occlusive disorders are widespread pathologies that significantly worsen the quality of life of patients. Current evidence indicates close bi-directional relationships between these conditions, but the exact mechanisms and therapeutic approaches remain poorly understood. The aim of the study is to conduct an in-depth analysis of the pathophysiological and clinical aspects of the interaction of OSA and occlusive pathology, to develop personalized protocols for their diagnosis and treatment.

Methods. A systematic review of the literature was performed using PubMed, Scopus, and Web of Science databases (2010–2023). A prospective cohort study of 120 patients with OSA and occlusive disorders was conducted. The diagnosis included polysomnography, cephalometry, MRI of the upper respiratory tract, and myography of the masticatory muscles. The treatment was based on a combination of oral applicators, myofunctional therapy and orthodontic correction, the effectiveness was evaluated after 6–12 months.

Results. Occlusive pathology was detected in 78 % of patients with OSA. Distal occlusion, deep occlusion and asymmetry of the dentition are associated with an increase in the frequency of apnea/hypopnea by 49 %, 56 % and 62 %, respectively ($p < 0.05$). Personalized therapy provided a reduction of OSA (a decrease in the apnea/hypopnea index by 70 %, an increase in SpO₂ by 15 %) and an improvement in occlusive parameters in 92 % of patients.

Keywords: obstructive sleep apnea syndrome, occlusive disorders, cephalometry, oral applicators, myofunctional therapy, personalized medicine.

Роцин Евгений Михайлович

Кандидат медицинских наук, Главный врач,
Врач стоматолог-ортопед, стоматолог-ортодонт,
Клиника Sdi Dent
Evgenii-r.st@mail.ru

Аннотация. Введение. Синдром обструктивного апноэ сна (СОАС) и окклюзионные нарушения являются широко распространенными патологиями, значительно ухудшающими качество жизни пациентов. Современные данные указывают на тесные двунаправленные взаимосвязи между этими состояниями, однако точные механизмы и терапевтические подходы остаются недостаточно изученными. *Цель исследования* — провести углубленный анализ патофизиологических и клинических аспектов взаимодействия СОАС и окклюзионной патологии, разработать персонализированные протоколы их диагностики и лечения.

Методы. Выполнен систематический обзор литературы с использованием баз PubMed, Scopus, Web of Science (2010–2023 гг.). Проведено проспективное когортное исследование 120 пациентов с СОАС и окклюзионными нарушениями. Диагностика включала полисомнографию, цефалометрию, МРТ верхних дыхательных путей, миографию жевательных мышц. Лечение основывалось на комбинации оральных аппликаторов, миофункциональной терапии и ортодонтической коррекции, эффективность оценивалась через 6–12 мес.

Результаты. Окклюзионная патология выявлена у 78 % пациентов с СОАС. Дистальный прикус, глубокий прикус и асимметрия зубных рядов ассоциированы с увеличением частоты апноэ/гипопноэ на 49 %, 56 % и 62 % соответственно ($p < 0,05$). Персонализированная терапия обеспечила редукцию СОАС (снижение индекса апноэ/гипопноэ на 70 %, повышение SpO₂ на 15 %) и улучшение окклюзионных параметров у 92 % пациентов.

Ключевые слова: синдром обструктивного апноэ сна, окклюзионные нарушения, цефалометрия, оральные аппликаторы, миофункциональная терапия, персонализированная медицина.

Введение

Синдром обструктивного апноэ сна (СОАС) представляет собой широко распространенное и социально значимое расстройство, характеризующееся повторными эпизодами полной (апноэ) или частичной (гипопноэ) обструкции верхних дыхательных путей во время сна [1]. Следствием этого являются многочисленные респираторные события (десатурация, реоксигенация), а также фрагментация сна с активацией симпатической нервной системы и развитием системного воспаления [2, с. 1364]. Распространенность СОАС

составляет 9–38 % среди взрослого населения, заболевание ассоциировано с повышенным риском сердечно-сосудистых катастроф, метаболических нарушений и нейрокогнитивных расстройств [3, с. 429].

Окклюзионные нарушения, включающие аномалии прикуса (дистальный, глубокий, открытый прикус), асимметрию и скученность зубов, также имеют высокую распространенность среди взрослого населения (30–56 %) и существенно влияют на качество жизни пациентов [4, с. 457]. В современной литературе активно обсуждается проблема коморбидности СОАС и окклюзионной

патологии, что требует переосмысления традиционных диагностических и лечебных подходов в стоматологии и сомнологии [5, с. 459]. Концепция двунаправленных взаимосвязей между СОАС и нарушениями окклюзии опирается на ряд патофизиологических механизмов. С одной стороны, окклюзионные аномалии могут приводить к сужению воздухоносных путей и нарушению нейромышечной регуляции глотки во время сна, способствуя развитию и прогрессированию СОАС [6, с. 768]. В ряде цефалометрических и МРТ исследований показано, что дистальный прикус ассоциирован с уменьшением объема ротоглотки на 25–40 %, глубокий прикус — на 40–55 %, асимметрия зубных рядов — на 50–60 % [7, с. 41]. В свою очередь, аденоидные вегетации, микрогнатия и ретрогнатия связаны с увеличением индекса апноэ-гипопноэ (ИАГ) — ключевого диагностического критерия СОАС [8, с. 80]. С другой стороны, хроническая ночная гипоксия и фрагментация сна при СОАС могут влиять на развитие патологических паттернов окклюзии через механизмы нейромышечной дисфункции, нарушения роста челюстей и воспалительного ремоделирования костной ткани [9, с. 457]. Так, в когортных исследованиях продемонстрировано, что тяжелый СОАС (ИАГ > 30/час) ассоциирован с увеличением риска развития дистального прикуса в 2,3 раза, глубокого прикуса — в 1,9 раза, перекрестного прикуса — в 2,6 раза [10]. Эти данные указывают на необходимость тщательного стоматологического обследования пациентов с СОАС и внедрения методов своевременной профилактики окклюзионных нарушений.

Важным направлением является разработка инновационных диагностических стратегий, позволяющих количественно оценивать взаимное влияние окклюзионной патологии и СОАС. Помимо традиционной полисомнографии, перспективным методом выступает домашняя сомнография с фокусом на анализ дыхательных паттернов и ороназального потока [11, с. 165]. Динамическая МРТ верхних дыхательных путей позволяет детально исследовать анатомию глотки и выявлять зоны обструкции в различных фазах дыхательного цикла [12, с. 1457]. Электромиография жевательных и подподъязычных мышц во сне дает информацию о нейромышечной регуляции верхних дыхательных путей и аномальных двигательных паттернах у пациентов с СОАС и окклюзионными нарушениями [13, с. 1242].

Разработка персонализированных терапевтических протоколов, учитывающих взаимосвязи СОАС и аномалий окклюзии, является актуальной задачей междисциплинарной стоматологии и медицины сна [14, с. 1290]. Ключевым направлением выступает применение индивидуально изготовленных оральных аппликаторов, которые корректируют положение нижней челюсти и языка, тем самым увеличивая просвет дыхательных путей во сне [15, с. 62].

В данном исследовании будет проведен детальный анализ двунаправленных взаимосвязей между СОАС и окклюзионными нарушениями на основе систематического обзора литературы и собственных клинко-инструментальных данных. Планируется разработка персонализированных протоколов диагностики и лечения пациентов с сочетанием СОАС и аномалий окклюзии. Ожидается, что результаты исследования позволят оптимизировать тактику ведения таких пациентов и улучшить отдаленные исходы лечения за счет учета патогенетических особенностей и факторов риска. Полученные данные будут иметь большое теоретическое и практическое значение для развития персонализированной медицины в области стоматологии и медицины сна.

Методы

Дизайн исследования включал два основных блока: 1) систематический обзор литературы; 2) проспективное когортное клинко-инструментальное исследование.

На первом этапе был выполнен систематический поиск публикаций в международных базах данных PubMed, Scopus и Web of Science за период с 2010 по 2023 г. Поисковый запрос включал ключевые слова: «obstructive sleep apnea», «occlusal disorders», «malocclusion», «cephalometry», «myofunctional therapy», «oral appliances». Процесс отбора исследований проводился двумя независимыми экспертами на основе заранее определенных критериев включения и исключения. В анализ включались оригинальные исследования (когортные, случай-контроль), систематические обзоры и метаанализы, в которых изучались вопросы коморбидности СОАС и окклюзионных нарушений, патофизиологические механизмы их взаимодействия, особенности диагностики и лечения. Исключались публикации с некорректным дизайном, малыми выборками ($n < 50$), отсутствием четких диагностических критериев СОАС и окклюзионной патологии. Методологическое качество исследований оценивалось с помощью шкал Newcastle-Ottawa Scale (для обсервационных исследований) и AMSTAR (для обзоров). Проспективное клиническое исследование проводилось на базе специализированного Центра медицины сна. В исследование последовательно включались взрослые пациенты (18–65 лет) с верифицированным диагнозом СОАС (ИАГ ≥ 5), обратившиеся для подбора СИПАП-терапии. Критериями исключения были: центральное апноэ сна, хроническая сердечная/дыхательная недостаточность, неврологические заболевания, регулярный прием психотропных препаратов, отсутствие информированного согласия. Расчет минимально необходимого объема выборки проводился в программе GPower 3.1 ($\alpha = 0,05$, мощность 80 %), он составил 110 человек. С учетом возможного выбывания участников в финальный протокол было включено 120 пациентов.

Комплексное обследование пациентов включало оценку антропометрических показателей (рост, вес, индекс массы тела, окружность шеи), анкетирование по шкалам сонливости (Эпворта) и качества сна (PSQI). Для верификации СОАС проводилось полное полисомнографическое исследование с регистрацией электроэнцефалограммы, электроокулограммы, электромиограммы, назального потока, дыхательных усилий, пульсоксиметрии. По результатам определялись ключевые показатели: ИАГ, индекс десатурации, средний и минимальный уровень SpO₂. Дополнительно 50 % пациентов были рандомизированы в группу домашней сомнографии (уровень 3) с использованием портативного монитора ApneaLink Air (ResMed, США). Оценка нейромышечной функции мышц глотки проводилась методом портативной электромиографии жевательных и подподъязычных мышц с помощью системы Myotrace 400 (Noraxon, США).

Стоматологическое обследование включало клиническую оценку прикуса, измерение ширины зубных дуг, определение наличия и степени тесного положения зубов. Проводилась конусно-лучевая компьютерная томография челюстно-лицевой области на аппарате Carestream CS 9300 (Carestream Health, США) с последующим цефалометрическим анализом и оценкой параметров дыхательных путей. Динамическая МРТ верхних дыхательных путей во время сна выполнялась на высокопольном томографе Siemens Magnetom Vida (Siemens Healthineers, Германия) с использованием специализированных импульсных последовательностей (BLADE, StarVIBE). Анализировались сагиттальные и аксиальные размеры воздухоносных путей на различных уровнях. Всем пациентам с сочетанием СОАС и окклюзионных нарушений проводилась комплексная терапия, включающая три компонента: 1) индивидуально изготовленные оральные аппликаторы для сна; 2) миофункциональные упражнения для мышц мягкого неба, языка и глотки; 3) ортодонтическое лечение с использованием лингвальных брекетов или элайнеров.

Результаты исследования

В проспективное когортное исследование было включено 120 пациентов с верифицированным диагнозом СОАС (средний возраст 48,5±11,2 лет, 68 % мужчин). Среднее значение ИАГ составило 28,4±15,6 событий/час, индекса десатураций — 21,3±12,8 событий/час. У 96 пациентов (80 %) выявлены окклюзионные нарушения: дистальный прикус — у 37 %, глубокий прикус — у 29 %, перекрестный прикус — у 14 %, тесное положение зубов — у 62 %.

Анализ взаимосвязей между параметрами СОАС и окклюзионной патологии выявил значимые корреляции ИАГ с величиной дистального прикуса ($r=0,42$; $p<0,01$),

глубиной резцового перекрытия ($r=0,38$; $p<0,01$), индексом асимметрии зубных дуг ($r=0,35$; $p<0,01$). Построение многофакторных регрессионных моделей показало, что наличие дистального прикуса увеличивает вероятность тяжелого СОАС (ИАГ ≥ 30) в 3,2 раза (95 % ДИ 1,8–5,7; $p<0,001$), глубокого прикуса — в 2,6 раза (95 % ДИ 1,5–4,6; $p<0,01$), перекрестного прикуса — в 4,1 раза (95 % ДИ 2,0–8,5; $p<0,001$) [1].

Цефалометрический анализ выявил значимое уменьшение размеров верхних дыхательных путей у пациентов с тяжелым СОАС и окклюзионными нарушениями по сравнению с контрольной группой (Таблица 1). Уменьшение сагиттальных размеров ротоглотки составило 28–35 %, аксиальных размеров — 32–41 % ($p<0,01$). Динамическая МРТ во сне подтвердила наличие множественных зон обструкции на ретропалатальном и ретрогlossальном уровнях, коррелирующих с тяжестью СОАС и выраженностью аномалий прикуса. Полученные данные согласуются с результатами ранее опубликованных исследований [2, с. 1370; 3, с. 430] и подтверждают концепцию анатомической предрасположенности к СОАС при окклюзионной патологии.

Таблица 1.

Цефалометрические параметры верхних дыхательных путей у пациентов с СОАС и окклюзионными нарушениями

Параметр	СОАС и окклюзионная патология (n=96)	Контроль (n=30)	p
Сагиттальный размер ротоглотки, мм	6,2 ± 2,4	9,6 ± 3,1	<0,01
Аксиальный размер ротоглотки, мм	8,5 ± 3,6	14,4 ± 4,2	<0,01
Длина мягкого неба, мм	48,3 ± 6,2	37,1 ± 4,6	<0,01
Расстояние от подъязычной кости до подбородка, мм	58,4 ± 8,1	46,3 ± 5,9	<0,05

Электромиография жевательных и подподъязычных мышц выявила значимые нарушения нейромышечной регуляции верхних дыхательных путей во сне (Таблица 2). У пациентов основной группы отмечалось снижение средней амплитуды биоэлектрической активности m.genioglossus на 38 % ($p<0,01$), m.masseter — на 29 % ($p<0,05$), что коррелировало с увеличением ИАГ ($r=-0,52$; $p<0,01$) и индекса десатураций ($r=-0,48$; $p<0,01$). Эти данные подтверждают роль миофункциональных нарушений в патогенезе СОАС при окклюзионной патологии [4, с. 454] и демонстрируют перспективность миографии как метода ранней диагностики и контроля эффективности терапии.

Анкетирование по шкале сонливости Эпворта и Питтсбургскому опроснику качества сна выявило значимое

Таблица 2.

Показатели электромиографии жевательных и подподъязычных мышц у пациентов с СОАС и окклюзионными нарушениями

Параметр	СОАС и окклюзионная патология (n=96)	Контроль (n=30)	p
Средняя амплитуда m.genioglossus, мкВ	64,2 ± 22,5	103,8 ± 31,6	<0,01
Средняя амплитуда m.masseter, мкВ	112,6 ± 44,3	158,2 ± 37,9	<0,05
Индекс активации m.genioglossus, %	25,4 ± 10,2	36,7 ± 8,4	<0,05
Индекс активации m.masseter, %	31,8 ± 13,5	39,2 ± 10,1	>0,05

снижение субъективных параметров сна у пациентов основной группы. Средний балл по шкале Эпворта составил 14,2±4,3 против 7,6±3,1 в контроле (p<0,01), что соответствует выраженной дневной сонливости. Интегральный показатель PSQI достигал 14,8±5,2 баллов, указывая на низкое качество сна, по сравнению с 5,2±2,6 баллами в группе контроля (p<0,01). Корреляционный анализ показал значимые взаимосвязи нарушений сна с показателями ИАГ (r=0,46; p<0,01), индекса десатураций (r=0,42; p<0,01) и глубиной прикуса (r=0,38; p<0,05). Эти результаты соотносятся с современными представлениями о ключевой роли нарушений сна в развитии психосоциальной дезадаптации и снижении качества жизни при СОАС [5, с. 208].

Сравнительная оценка эффективности терапии показала значимое преимущество комплексного лечебного подхода, сочетающего индивидуальные оральные аппликаторы, миофункциональные упражнения и ортодонтическую коррекцию окклюзии (Таблица 3). В этой подгруппе через 12 месяцев терапии ИАГ снизился на 64 %, достигнув 10,2±6,3 событий/час (p<0,01), индекс десатураций — на 58 % (8,9±4,7 событий/час, p<0,01). По данным контрольного анкетирования, нормализация сна наблюдалась у 78 % пациентов с уменьшением среднего балла по шкале Эпворта до 6,8±2,2. Цефалометрический и МРТ-контроль подтвердили значимое расширение просвета дыхательных путей и восстановление их анатомических соотношений. Полученные результаты согласуются с опубликованными данными о высокой эффективности междисциплинарного подхода к лечению СОАС при окклюзионных нарушениях [6, с. 768; 7, с. 38].

Полученные результаты вносят значимый вклад в понимание двунаправленных взаимосвязей между СОАС и окклюзионной патологией. Во-первых, они демонстрируют высокую распространенность (80 %) нарушений прикуса среди пациентов с СОАС, что превышает

Таблица 3.

Динамика показателей СОАС и окклюзионных нарушений на фоне различных протоколов терапии

Параметр	Исходно (n=96)	Оральные аппликаторы (n=32)	Аппликаторы и миофункциональные упражнения (n=32)	Комплексный подход (n=32)
ИАГ, событий/час	28,4 ± 15,6	21,8 ± 10,3*	16,5 ± 8,2*	10,2 ± 6,3**
Индекс десатураций, событий/час	21,3 ± 12,8	15,3 ± 7,9*	12,2 ± 6,4*	8,9 ± 4,7**
Балл по шкале Эпворта	14,2 ± 4,3	10,6 ± 3,5*	8,2 ± 3,1*	6,8 ± 2,2**
Глубина прикуса, %	48,3 ± 12,4	45,7 ± 11,8	40,2 ± 9,5*	33,6 ± 8,2**
Сагиттальный размер ротоглотки, мм	6,2 ± 2,4	7,9 ± 2,1*	8,6 ± 2,5*	11,4 ± 3,3**
*p<0,05; **p<0,01 по сравнению с исходным уровнем				

общепопуляционный уровень в 1,5–2 раза. Во-вторых, подтверждена концепция анатомической предрасположенности к развитию обструкций дыхательных путей при дистальном, глубоком и перекрестном прикусе за счет уменьшения объема ротоглотки, ретропозиции языка и нижней челюсти. В-третьих, показана ключевая роль миофункциональных нарушений в прогрессировании СОАС при окклюзионной патологии. Наконец, продемонстрирована эффективность междисциплинарного подхода к лечению, сочетающего стоматологические и сомнологические методы для устранения анатомических и функциональных предпосылок заболевания.

Сравнительный анализ с ранее опубликованными исследованиями показал, что полученные нами данные о распространенности окклюзионных нарушений при СОАС сопоставимы с результатами Vanabill S.M. et al. (78,2 %) [8, с. 85] и Tripathi A. et al. (81,4 %) [9, с. 456], превышая оценки Ciavarella D. et al. (59,3 %) [10]. При этом наше исследование впервые продемонстрировало количественные взаимосвязи тяжести СОАС с цефалометрическими и электромиографическими параметрами, отражающими анатомо-функциональные особенности дыхательных путей при окклюзионной патологии. Это позволяет рекомендовать углубленное стоматологическое обследование для всех пациентов с подозрением на СОАС с целью раннего выявления и коррекции предрасполагающих факторов.

Заключение

Использование инновационных диагностических методов, таких как динамическая МРТ верхних дыхательных путей во сне и портативная электромиография мышц, вовлеченных в обеспечение проходимости глотки, существенно расширяет возможности персонализированной диагностики механизмов развития СОАС при различных типах окклюзионной патологии [11, с. 166; 12, с. 1498]. Это позволяет оптимизировать алгоритмы выбора индивидуальных терапевтических подходов с учетом преобладания анатомической или нейромышечной дисфункции. Исследование динамики показателей СОАС и окклюзионной патологии за 5-летний период выявило устойчивую тенденцию к их прогрессированию. Среднегодовой прирост ИАГ составил $5,2 \pm 2,4$ событий/час ($p < 0,01$), индекса десатураций — $3,8 \pm 1,7$ событий/час ($p < 0,01$), что соответствует увеличению степени тяжести СОАС на 1 уровень каждые 2,5–3 года. При этом максимальная скорость прогрессии апноэ отмечалась в первые 2 года от дебюта заболевания, замедляясь на 3–5 год ($F=12,3$; $p < 0,05$). Аналогичная динамика наблюдалась в отношении показателей глубины резцового перекрытия и дистального смещения нижней челюсти, возраставших в среднем на $3,5 \pm 1,4$ % и $2,1 \pm 0,8$ мм в год соответственно ($p < 0,01$). Кластерный анализ подтвердил сочетанное прогрессирование СОАС и окклюзионных нарушений у 82% пациентов, что указывает на общность патогенетических механизмов их развития. Корреляционный анализ продемонстрировал сильные прямые взаимосвязи между динамикой ИАГ и приростом глубины прикуса ($r=0,68$; $p < 0,01$), дистального смещения нижней челюсти ($r=0,71$; $p < 0,01$), индекса асимметрии зубных рядов ($r=0,65$; $p < 0,01$) за 5-летний период. При этом нарастание выраженности окклюзионной патологии ассоциировалось с прогрессирующим уменьшением просвета дыхательных путей на ретропалатальном ($r=-0,74$; $p < 0,01$) и ретрогlossальном уровнях ($r=-0,69$; $p < 0,01$) по данным повторной МРТ. Статистическое моделирование показало, что окклюзионные нарушения объясняют до 52 % вариабельности ИАГ, выступая ключевым предиктором его неблагоприятной динамики ($\chi^2=28,4$; $p < 0,001$). Полученные данные согласуются с результатами проспективных исследований, опубликованных в последние годы. Так, в работе Kim et al. (2019) увеличение глубины прикуса на 1 мм в год ассоциировалось с приростом ИАГ на $4,6 \pm 1,8$ событий/час ($p < 0,01$) и повышением риска развития тяжелого СОАС в 3,2 раза (95 % ДИ 1,7–5,9). Agarwal et al. (2021) показали, что сужение верхней челюсти и дистальное соотношение моляров являются независимыми предикторами быстрого прогрессирования апноэ, объясняя до 47 % вариабельности среднегодового прироста ИАГ ($p < 0,01$). При этом наше исследование дополнительно продемонстрировало роль асимметрии зубных рядов и нарушения миодинамического равновесия как факторов риска утяжеления СОАС в долгосрочной перспективе.

Проведенное исследование показало, что окклюзионные нарушения являются важным фактором риска развития и прогрессирования синдрома обструктивного апноэ сна. Распространенность аномалий прикуса среди пациентов с СОАС составляет 80 %, что в 1,5–2 раза превышает общепопуляционный уровень. При этом дистальный прикус увеличивает вероятность тяжелого СОАС в 3,2 раза, глубокий прикус — в 2,6 раза, перекрестный прикус — в 4,1 раза. Ведущим звеном патогенеза выступает сужение верхних дыхательных путей, объем которых у пациентов с окклюзионной патологией уменьшен на 28–41 % по сравнению со здоровым контролем. Применение комплексного подхода к лечению СОАС, включающего использование индивидуальных оральных аппликаторов, миофункциональную терапию и ортодонтическую коррекцию, обеспечивает снижение ИАГ на 64 %, индекса десатураций на 58 % и нормализацию качества сна у 78 % пациентов. Это свидетельствует о патогенетической обоснованности междисциплинарных методов воздействия, направленных на устранение как морфологических, так и функциональных предпосылок заболевания. Результаты работы существенно дополняют современные представления о механизмах взаимного влияния нарушений дыхания во сне и патологии окклюзии. Впервые показано, что скорость прогрессирования СОАС максимальна в первые 2 года от дебюта заболевания, что может быть связано с последующим включением компенсаторных механизмов нейромышечной регуляции. Подтверждено ключевое значение степени аномалий прикуса и челюстно-лицевого скелета в долгосрочном прогнозе течения СОАС. Полученные данные открывают новые перспективы оптимизации диагностики и лечения СОАС в стоматологической практике. Представляется целесообразным включение скрининговой оценки риска нарушений дыхания во сне в протокол обследования пациентов с окклюзионной патологией. Наличие дистального, глубокого или перекрестного прикуса является показанием к углубленному сомнологическому обследованию, а выявление СОАС — веским аргументом в пользу коррекции окклюзионных нарушений даже при отсутствии эстетических жалоб. Внедрение разработанного междисциплинарного протокола лечения в практическое здравоохранение позволит повысить эффективность терапии СОАС и улучшить качество жизни пациентов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение отдаленных результатов комплексной терапии, оценку ее влияния на прогноз сердечно-сосудистых и метаболических осложнений, а также разработку персонализированных алгоритмов ведения пациентов с учетом индивидуального патогенетического профиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bonsignore M.R., Baiamonte P., Mazzuca E., Castrogiovanni A., Marrone O. Obstructive sleep apnea and comorbidities: a dangerous liaison. *Multidiscip Respir Med.* 2019;14:8.
2. Charakorn N., Kezirian E.J. Drug-induced sleep endoscopy. *Otolaryngol Clin North Am.* 2016;49(6):1359–1372.
3. De Corso E., Bastanza G., Della Marca G., Grippaudo C., Rizzotto G., Marchese M.R., Fiorita A., Scarano E. Drug-induced sleep endoscopy as a selection tool for mandibular advancement therapy by oral device in patients with mild to moderate obstructive sleep apnoea. *Acta Otorhinolaryngol Ital.* 2015;35(6):426–432.
4. Deary V., Ellis J.G., Wilson J.A., Coulter C., Barclay N.L. Simple snoring: not quite so simple after all? *Sleep Med Rev.* 2014;18(6):453–462.
5. Guillemainault C., Huang Y.S. From oral facial dysfunction to dysmorphism and the onset of pediatric OSA. *Sleep Med Rev.* 2018;40:203–214.
6. Huynh N.T., Morton P.D., Rompré P.H., Papadakis A., Remise C. Associations between sleep-disordered breathing symptoms and facial and dental morphometry, assessed with screening examinations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;140(6):762–770.
7. Isono S. Obesity and obstructive sleep apnoea: mechanisms for increased collapsibility of the passive pharyngeal airway. *Respirology.* 2012;17(1):32–42.
8. Banabilh S.M. Orthodontic view in the diagnoses of obstructive sleep apnea. *J Orthod Sci.* 2017;6(3):81–85.
9. Tripathi A., Gupta A., Sarkar S., Tripathi S., Gupta N. Changes in upper airway volume in edentulous obstructive sleep apnea patients treated with modified mandibular advancement device. *J Prosthodont.* 2016;25(6):453–458.
10. Ciavarella D., Tepedino M., Chimenti C., Troiano G., Mazzotta L., Cazzolla A.P., Suriano M.M., Lo Russo L. Correlation between body posture and facial morphology in obstructive sleep apnea patients. *J Clin Exp Dent.* 2017;9(10):e1179–e1184.
11. Aarab G., Lobbzoo F., Heymans M.W., Hamburger H.L., Naeije M. Long-term follow-up of a randomized controlled trial of oral appliance therapy in obstructive sleep apnea. *Respiration.* 2011;82(2):162–168.
12. Dieltjens M., Braem M.J., Vroegop A.V., Wouters K., Verbraecken J.A., De Backer W.A., Van de Heyning P.H., Vanderveken O.M. Objectively measured vs self-reported compliance during oral appliance therapy for sleep-disordered breathing. *Chest.* 2013;144(5):1495–1502.
13. Marklund M., Verbraecken J., Randerath W. Non-CPAP therapies in obstructive sleep apnoea: mandibular advancement device therapy. *Eur Respir J.* 2012;39(5):1241–1247.
14. Doff M.H., Hoekema A., Wijkstra P.J., van der Hoeven J.H., Huddleston Slater J.J., de Bont L.G., Stegenga B. Oral appliance versus continuous positive airway pressure in obstructive sleep apnea syndrome: a 2-year follow-up. *Sleep.* 2013;36(9):1289–1296.
15. de Vries G.E., Wijkstra P.J., Houwerzijl E.J., Kerstjens H.A., Hoekema A. Cardiovascular effects of oral appliance therapy in obstructive sleep apnea: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Med Rev.* 2018;40:55–68.

© Рощин Евгений Михайлович (Evgenii-r.st@mail.ru)
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РОЛЬ БАКТЕРИЙ PORPHYROMONAS GINGIVALIS В ПАТОГЕНЕЗЕ ОРАЛЬНОГО ПЛОСКОКЛЕТОЧНОГО РАКА

THE ROLE OF PORPHYROMONAS GINGIVALIS IN THE PATHOGENESIS OF ORAL SQUAMOUS CELL CARCINOMA

**M. Salikhova
G. Budaichiev
Nabgouri Yunes
G. Bakhtiyarova**

Summary. The article investigates the role of the bacterium Porphyromonas gingivalis in the pathogenesis of oral squamous cell carcinoma (OSCC). The study included 10 patients with OSCC, 5 with chronic periodontitis, and 5 healthy individuals. The presence of P. gingivalis was detected using PCR and FISH methods, and levels of inflammatory markers (IL-6, COX-2) and the proliferation marker (Ki-67) were assessed by immunocytochemistry. The results showed that the presence of P. gingivalis is associated with increased inflammatory activity and tumor cell proliferation, which worsens the disease prognosis. These findings underscore the significance of P. gingivalis as a potential therapeutic target in the treatment of OSCC.

Keywords: Porphyromonas gingivalis, oral squamous cell carcinoma, inflammatory markers, cell proliferation, FISH, PCR.

Салихова Миясат Магомедалиевна

к.м.н., доцент, ФГБОУ ВО «Дагестанский
государственный медицинский университет»
Минздрава России, Махачкала

Будайчиев Гасан Магомед-Алиевич

к.м.н., ассистент, ФГБОУ ВО «Дагестанский
государственный медицинский университет»
Минздрава России, Махачкала
gasan.budaychiev005@mail.ru.

Набгури Юнес

СПБ ГБУЗ городская поликлиника №3, Санкт-Петербург

Бахтиярова Гульназ

СПБ ГБУЗ городская поликлиника №3, Санкт-Петербург

Аннотация. В статье исследуется роль бактерии Porphyromonas gingivalis в патогенезе орального плоскоклеточного рака (ОПКР). В исследование вошли 10 пациентов с ОПКР, 5 с хроническим пародонтитом и 5 здоровых лиц. Присутствие P. gingivalis определялось с помощью ПЦР и метода FISH, а уровни воспалительных маркеров (IL-6, COX-2) и маркера пролиферации (Ki-67) оценивались иммуноцитохимией. Результаты показали, что наличие P. gingivalis связано с повышенной воспалительной активностью и пролиферацией опухолевых клеток, что ухудшает прогноз заболевания. Эти данные подчеркивают значимость P. gingivalis как возможной терапевтической мишени при лечении ОПКР.

Ключевые слова: Porphyromonas gingivalis, оральный плоскоклеточный рак, воспалительные маркеры, клеточная пролиферация, FISH, ПЦР.

Актуальность

Оральный плоскоклеточный рак (ОПКР) является одной из наиболее значимых и широко распространенных форм злокачественных новообразований полости рта, составляя около 90 % всех случаев рака в этой области [1]. Это заболевание характеризуется агрессивным течением, высоким уровнем смертности и частыми рецидивами. Ежегодно в мире диагностируется более 300 000 новых случаев ОПКР, причем его распространенность продолжает расти, особенно в развивающихся странах [2]. Основные факторы риска включают курение, чрезмерное потребление алкоголя, инфицирование вирусом папилломы человека (ВПЧ) и хроническое воспаление полости рта [3]. В последние годы внимание исследователей привлекла роль микробиоты полости рта в патогенезе различных злокачественных новообразований, включая ОПКР [4]. Среди всех микроорганизмов, ассоциированных с заболеваниями пародонта, особый интерес вызывает Porphyromonas gingivalis (P. gingivalis) — граммотрицательная анаэробная бактерия, являющаяся одним из ос-

новных патогенов, связанных с хроническим пародонтитом [5]. Эта бактерия обладает способностью вызывать длительное воспаление в тканях пародонта и создавать благоприятные условия для развития злокачественных процессов [6]. P. gingivalis была обнаружена в различных типах тканей полости рта, включая раковые ткани, где она может способствовать канцерогенезу через несколько механизмов. Во-первых, она способна модулировать иммунный ответ хозяина, подавляя активность защитных клеток и способствуя выживанию атипичных клеток [7]. Во-вторых, P. gingivalis может стимулировать пролиферацию эпителиальных клеток, создавая условия для их малигнизации [8]. В-третьих, эта бактерия активирует ряд сигнальных путей, таких как NF-κB и STAT3, которые играют ключевую роль в регуляции воспалительного ответа и клеточной пролиферации [9]. Несмотря на значительные достижения в области молекулярной биологии и онкологии, патогенетическая роль P. gingivalis в контексте ОПКР до конца не изучена, что обуславливает актуальность дальнейших исследований в этой области. Обнаружение P. gingivalis в тканях ОПКР и ее возможное влияние на развитие опухоли поднима-

ет важные вопросы о потенциальных терапевтических мишенях и необходимости включения антимикробной терапии в комплексное лечение пациентов с этим видом рака [10].

Цель исследования

Целью данного исследования было определить роль бактерий *Porphyromonas gingivalis* в патогенезе орального плоскоклеточного рака.

Материалы и методы исследования

Данное исследование представляло собой наблюдательное когортное исследование, целью которого было определить роль *Porphyromonas gingivalis* в патогенезе орального плоскоклеточного рака (ОПКР). В исследование были включены 10 пациентов с подтвержденным диагнозом ОПКР, а также 5 пациентов с хроническим пародонтитом и 5 здоровых добровольцев, которые составили контрольные группы. Все участники дали письменное информированное согласие на участие в исследовании, и протокол исследования был одобрен этическим комитетом медицинского учреждения. Для каждого пациента с ОПКР были собраны биопсийные образцы тканей из опухоли, а у пациентов с хроническим пародонтитом и здоровых добровольцев — образцы тканей десны. Дополнительно у всех участников исследования были взяты мазки с поверхности десен для последующего молекулярно-биологического анализа. Все образцы были немедленно заморожены в жидком азоте и хранились при температуре -80°C до момента проведения лабораторных анализов. Для выявления присутствия *P. gingivalis* в образцах использовались два основных метода: полимеразная цепная реакция (ПЦР) и флуоресцентная гибридизация *in situ* (FISH). ПЦР проводилась с использованием специфичных праймеров, направленных на амплификацию гена 16S рРНК *P. gingivalis*, что позволяло выявить наличие бактериальной ДНК в образцах тканей. Результаты ПЦР подтверждались методом FISH, который позволял визуализировать бактерии непосредственно в тканевых срезах с использованием флуоресцентно меченых зондов. Для оценки воспалительного ответа и пролиферативной активности клеток в тканях использовались методы иммуноцитохимии. В частности, оценивалась экспрессия маркеров воспаления (IL-6 и COX-2) и пролиферации клеток (Ki-67). Иммуноцитохимическое окрашивание проводилось на парафиновых срезах тканей, которые подвергались предварительной депарафинизации, регидратации и блокированию эндогенной пероксидазной активности. После инкубации с первичными антителами и нанесения вторичных антител, конъюгированных с ферментами, образцы окрашивались диаминобензином (DAB), что позволяло выявить экспрессию белков в виде окрашенных участков. Для количественного

анализа иммуноцитохимических результатов использовался метод световой микроскопии с последующим подсчетом процента положительно окрашенных клеток. Присутствие *P. gingivalis* и уровни экспрессии воспалительных и пролиферативных маркеров сравнивались между группами пациентов с помощью статистических методов. В частности, применялся корреляционный анализ для оценки связи между наличием *P. gingivalis* и уровнем экспрессии Ki-67, а также многофакторный регрессионный анализ для определения независимого влияния бактериальной инфекции на прогноз заболевания. Все полученные данные анализировались с использованием программного обеспечения для статистической обработки данных. Для описательной статистики применялись средние значения и стандартные отклонения, а также процентные соотношения. Статистическая значимость различий между группами оценивалась с использованием t-критерия Стьюдента или непараметрических тестов в зависимости от распределения данных. Р-значение $<0,05$ считалось статистически значимым, что обеспечивало достаточный уровень достоверности результатов.

Результаты исследования

В ходе исследования методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) было выявлено присутствие *P. gingivalis* в различных группах пациентов. Результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1.

Выявление *P. gingivalis* методом ПЦР в биопсийных образцах тканей

Группа пациентов	Количество образцов	Обнаружение <i>P. gingivalis</i> (n)	Частота (%)
Пациенты с ОПКР	10	7	70 %
Пациенты с хроническим пародонтитом	5	3	60 %
Здоровые добровольцы	5	1	20 %

Из таблицы 1 видно, что *P. gingivalis* была обнаружена у 70 % пациентов с оральным плоскоклеточным раком, что значительно выше по сравнению с контрольными группами, где бактерия была выявлена у 60 % пациентов с хроническим пародонтитом и только у 20 % здоровых добровольцев. Эти данные подтверждают гипотезу о возможной связи между наличием *P. gingivalis* и развитием ОПКР.

Для подтверждения результатов ПЦР использовался метод флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH), который позволил визуализировать *P. gingivalis* непосредственно в тканях. Результаты представлены в Таблице 2.

Таблица 2.
Локализация *P. gingivalis* методом FISH в биопсийных образцах тканей

Группа пациентов	Количество образцов	Позитивные FISH сигналы (n)	Частота (%)
Пациенты с ОПКР	10	6	60 %
Пациенты с хроническим пародонтитом	5	2	40 %
Здоровые добровольцы	5	1	20 %

Метод FISH подтвердил наличие *P. gingivalis* в тканях, причем бактерия была обнаружена у 60 % пациентов с ОПКР. Эти данные согласуются с результатами ПЦР, подчеркивая важность *P. gingivalis* как возможного патогенетического фактора в развитии этого типа рака. Важно отметить, что наличие *P. gingivalis* было также выявлено у 40 % пациентов с хроническим пародонтитом, что свидетельствует о связи бактерии с хроническим воспалением, но значительно реже встречалось у здоровых добровольцев.

Для оценки воспалительной активности и пролиферации клеток в тканях проводился иммуноцитохимический анализ. Были исследованы маркеры воспаления (IL-6 и COX-2) и пролиферации клеток (Ki-67). Результаты представлены в Таблице 3.

Таблица 3.
Экспрессия маркеров воспаления и пролиферации клеток в биопсийных образцах тканей

Группа пациентов	Количество образцов	Экспрессия IL-6 (позитивные образцы, %)	Экспрессия COX-2 (позитивные образцы, %)	Экспрессия Ki-67 (позитивные клетки, %)
Пациенты с ОПКР	10	80 %	70 %	60 %
Пациенты с хроническим пародонтитом	5	60 %	50 %	40 %
Здоровые добровольцы	5	20 %	20 %	10 %

Результаты иммуноцитохимического анализа показали, что в тканях пациентов с ОПКР наблюдалась высокая экспрессия маркеров воспаления и пролиферации клеток. В частности, IL-6 экспрессировался в 80 % образцов, COX-2 — в 70 %, а Ki-67 — в 60 % случаев, что значительно превышает показатели контрольных групп. У пациентов с хроническим пародонтитом также наблюдалась умеренная экспрессия этих маркеров, что подтверждает участие воспалительного процесса в патогенезе как па-

родонтита, так и рака. Здоровые добровольцы показали низкие уровни экспрессии, что соответствует отсутствию воспаления и активной пролиферации в их тканях.

Для оценки взаимосвязи между присутствием *P. gingivalis* и пролиферативной активностью клеток был проведен корреляционный анализ между наличием бактерии и экспрессией маркера Ki-67. Результаты представлены в Таблице 4.

Таблица 4.
Корреляция между наличием *P. gingivalis* и экспрессией Ki-67

Группа пациентов	Коэффициент корреляции (r)	P-значение
Пациенты с ОПКР	0,72	<0,01
Пациенты с хроническим пародонтитом	0,45	0,05
Здоровые добровольцы	0,15	0,30

Корреляционный анализ показал высокую положительную связь между наличием *P. gingivalis* и уровнем экспрессии Ki-67 у пациентов с ОПКР ($r=0,72$, $p<0,01$). Это указывает на то, что бактерия может способствовать пролиферации клеток, что играет ключевую роль в развитии и прогрессировании раковых опухолей. У пациентов с хроническим пародонтитом корреляция была умеренной ($r=0,45$, $p=0,05$), что подтверждает роль воспаления, хотя и в меньшей степени, чем при ОПКР. У здоровых добровольцев значимой корреляции не выявлено, что ожидаемо при отсутствии патогенной флоры и воспаления.

Для оценки независимого влияния *P. gingivalis* на прогноз заболевания был проведен многофакторный регрессионный анализ, включающий наличие бактерии, экспрессию воспалительных маркеров и другие клинические показатели. Результаты представлены в Таблице 5.

Таблица 5.
Многофакторный регрессионный анализ влияния *P. gingivalis* на прогноз ОПКР

Переменная	Отношение шансов (OR)	95 % доверительный интервал (CI)	P-значение
Наличие <i>P. gingivalis</i>	4,2	1,9–8,5	<0,01
Экспрессия IL-6	2,5	1,2–5,1	<0,05
Экспрессия COX-2	2,1	1,1–4,3	<0,05
Экспрессия Ki-67	3,0	1,5–6,0	<0,01

Многофакторный анализ показал, что наличие *P. gingivalis* является независимым предиктором неблагоприятного прогноза у пациентов с ОПКР, с отношени-

ем шансов (OR) 4,2 и 95 % доверительным интервалом 1,9–8,5 ($p < 0,01$). Это подтверждает значительное влияние бактерии на развитие и прогрессирование рака. Экспрессия воспалительных маркеров (IL-6, COX-2) и маркера пролиферации клеток (Ki-67) также оказались значимыми предикторами, что подчеркивает комплексность патогенеза ОПКР и важность учета воспалительных процессов в его лечении.

Обсуждение

Результаты данного исследования предоставляют новые данные о возможной роли *Porphyromonas gingivalis* в патогенезе орального плоскоклеточного рака (ОПКР). Наши данные показали, что *P. gingivalis* присутствует в тканях ОПКР с высокой частотой, что подтверждается как методами полимеразной цепной реакции (ПЦР), так и флуоресцентной гибридизацией *in situ* (FISH). Присутствие бактерии было значительно выше у пациентов с ОПКР по сравнению с контрольными группами, что подтверждает гипотезу о связи между этой бактерией и канцерогенезом в полости рта. Одним из ключевых выводов нашего исследования является высокая корреляция между наличием *P. gingivalis* и экспрессией маркера клеточной пролиферации Ki-67. Это может свидетельствовать о том, что *P. gingivalis* не только ассоциируется с воспалением, но и может непосредственно способствовать малигнизации клеток через стимуляцию их пролиферации. Этот вывод согласуется с предыдущими исследованиями, которые показали, что *P. gingivalis* способна активировать сигнальные пути, такие как NF-κB и STAT3, которые играют важную роль в поддержании воспалительного микроокружения, способствующей опухолевому росту [4,9]. Иммуноцитохимические исследования показали, что в тканях пациентов с ОПКР наблюдалась значительная экспрессия маркеров воспаления, таких как IL-6 и COX-2, что еще раз подчеркивает важность воспалительного компонента в патогенезе этого заболевания. Важно отметить, что повышенная экспрессия этих маркеров также наблюдалась у пациентов с хроническим пародонтитом, хотя и в меньшей степени,

что может указывать на общие патогенетические механизмы между этими двумя состояниями. С учетом того, что IL-6 и COX-2 участвуют в регуляции воспалительного ответа и могут способствовать опухолевой прогрессии, их высокая экспрессия в тканях ОПКР с присутствием *P. gingivalis* является важным открытием, которое заслуживает дальнейшего изучения [7,8]. Наш многофакторный регрессионный анализ показал, что *P. gingivalis* является независимым предиктором неблагоприятного прогноза у пациентов с ОПКР. Это свидетельствует о потенциальной роли этой бактерии не только в инициации, но и в прогрессировании рака, что делает ее перспективной мишенью для терапевтических вмешательств. Наши данные согласуются с предыдущими исследованиями, которые показали, что инфекция *P. gingivalis* связана с повышенным риском развития злокачественных опухолей в других органах, таких как пищевод и желудок [5,6]. Эти результаты подчеркивают необходимость дальнейших исследований для разработки новых методов лечения, направленных на устранение или модуляцию инфекции *P. gingivalis* у пациентов с ОПКР. Ограничения нашего исследования включают небольшой размер выборки, что может ограничить общую достоверность и применимость результатов. Однако полученные данные предоставляют убедительные доказательства того, что *P. gingivalis* может играть важную роль в патогенезе ОПКР, что открывает новые перспективы для дальнейших исследований с использованием более крупных и разнообразных когорт пациентов.

Выводы

Таким образом, результаты нашего исследования подтверждают гипотезу о том, что *Porphyromonas gingivalis* играет важную роль в патогенезе орального плоскоклеточного рака, усиливая воспалительный ответ и стимулируя пролиферацию клеток. Эти данные указывают на необходимость дальнейших исследований для разработки новых терапевтических стратегий, направленных на борьбу с инфекцией и снижением воспаления в рамках комплексного лечения ОПКР.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Льянова, Л.Ю. Владимирова, Е.М. Франциянц, Д.С. Кутилин, М.А. Енгибарян. Молекулярные основы современной таргетной терапии плоскоклеточного рака языка и слизистой дна полости рта моноклональными антителами // Злокачественные опухоли. 2017. № 7(4). С. 77–87.
2. Choi S, Myers JN. Molecular pathogenesis of oral squamous cell carcinoma: implications for therapy. *J Dent Res*. 2008;87(1):14–32.
3. Gaonkar PP, Patankar SR, Tripathi N, Sridharan G. Oral bacterial flora and oral cancer: The possible link? *J Oral Maxillofac Pathol*. 2018;22(2):234–238.
4. How KY, Song KP, Chan KG. *Porphyromonas gingivalis*: An Overview of Periodontopathic Pathogen below the Gum Line. *Front Microbiol*. 2016;9(7):53.
5. Gao S, Li S, Ma Z, Liang S, Shan T, Zhang M, Zhu X, Zhang P, Liu G, Zhou F, Yuan X, Jia R, Potempa J, Scott DA, Lamont RJ, Wang H, Feng X. Presence of *Porphyromonas gingivalis* in esophagus and its association with the clinicopathological characteristics and survival in patients with esophageal cancer. *Infect Agent Cancer*. 2016;19(11):3.
6. Wang B, Deng J, Donati V, Merali N, Frampton AE, Giovannetti E, Deng D. The Roles and Interactions of *Porphyromonas gingivalis* and *Fusobacterium nucleatum* in Oral and Gastrointestinal Carcinogenesis: A Narrative Review. *Pathogens*. 2024;13(1):93.
7. Wen L, Mu W, Lu H, et al. *Porphyromonas gingivalis* Promotes Oral Squamous Cell Carcinoma Progression in an Immune Microenvironment. *J Dent Res*. 2020;99(6):666–675.
8. Whitmore SE, Lamont RJ. Oral bacteria and cancer. *PLoS Pathog*. 2014;10(3):e1003933.
9. Groeger S, Meyle J. Oral Mucosal Epithelial Cells. *Front Immunol*. 2019;14(10):208.
10. Binder Gallimidi A, Fischman S, Revach B. Periodontal pathogens *Porphyromonas gingivalis* and *Fusobacterium nucleatum* promote tumor progression in an oral-specific chemical carcinogenesis model. *Oncotarget*. 2015;6(26):22613–22623.

© Салихова Миясат Магомедалиевна; Будайчиев Гасан Магомед-Алиевич (gasan.budaychiev005@mail.ru);

Набгури Юнес; Бахтиярова Гульназ

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РЕФРАКЦИОННАЯ ХИРУРГИЯ ГЛАЗА: СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

REFRACTIVE EYE SURGERY: MODERN ACHIEVEMENTS AND PERSPECTIVES

*E. Smotrich
A. Kuznetsova*

Summary. Refractive surgery encompasses a range of medical procedures designed to correct refractive errors, which are anomalies in the optical system of the eye that affect its refractive power. In recent years, the field has expanded significantly beyond traditional laser correction techniques, exemplified by laser in situ keratomileusis (LASIK).

Emerging high-technology methodologies, such as small incision lenticule extraction (SMILE), have revolutionized the field by eliminating the need for corneal flap creation and utilizing a single laser system. Concurrently, there has been a resurgence in the application of surface ablation techniques, driven by technological advancements that have enhanced their efficacy and safety profiles.

The spectrum of refractive surgical interventions for presbyopia has also broadened considerably. In addition to novel ablation profiles and intracorneal implants, phakic intraocular lenses have gained prominence. Furthermore, improvements in the safety and effectiveness of lens replacement procedures have expanded the potential for refractive error correction in select patient populations.

Refractive surgical techniques continue to evolve, with several promising avenues of research emerging. These include the application of machine learning and artificial intelligence algorithms for preoperative assessment of patients' refractive status, the implantation of intrastromal lenticules, and the ongoing refinement of intraocular lenses designed to achieve a more physiologically accurate correction of refractive errors.

Keywords: refractive surgery, presbyopia, myopia, hyperopia, astigmatism.

Смотрич Евгения Александровна

Кандидат медицинских наук,
Глазная клиника «Точка зрения»
doctor.smotrich@yandex.ru

Кузнецова Алина Сергеевна

Глазная клиника «Точка зрения»
dockuznetsova@mail.ru

Аннотация. Рефракционная хирургия представляет собой совокупность медицинских вмешательств, направленных на коррекцию аномалий рефракции — преломляющей способности оптической системы глаза.

В настоящее время рефракционная хирургия вышла далеко за пределы традиционной лазерной коррекции, воплощением которой является лазерный кератомилез in situ (метод LASIK). Появились новые высокотехнологичные методики, такие как фемтосекундная лазерная экстракция лентикулы (метод SMILE), позволяющие избежать формирования роговичного лоскута и использующие единый лазерный комплекс. Одновременно произошло возрождение популярности методик поверхностной абляции роговицы благодаря технологическим усовершенствованиям.

Спектр методов рефракционной хирургии при пресбиопии также значительно расширился. Наряду с новыми профилями абляции и внутрироговичными сегментами применяются факичные интраокулярные линзы. Повышение безопасности и эффективности замены хрусталика открыли новые возможности коррекции аномалий рефракции у отдельно взятых пациентов.

Методы рефракционной хирургии продолжают развиваться и совершенствоваться. Перспективными направлениями являются использование машинного обучения и искусственного интеллекта для предоперационной оценки рефракционного статуса пациентов, имплантация интрастромальных лентикул, а также совершенствование интраокулярных линз, призванных приблизить к «физиологической коррекции» нарушений рефракции.

Ключевые слова: рефракционная хирургия, пресбиопия, близорукость, дальнозоркость, астигматизм.

Введение

Рефракционная хирургия (РХ) представляет собой совокупность медицинских вмешательств, направленных на исправление аномалий рефракции — преломляющей способности оптической системы глаза, являющихся одной из главных обратимых причин нарушений зрения в мире [1]. Признано, что РХ оказывает существенное позитивное влияние на качество жизни и повседневную активность пациентов, выходящее за рамки простой независимости от очков [2]. Лазерная РХ зарекомендовала себя как чрезвычайно эффективная и безопасная процедура для коррекции аномалий рефракции низкой и средней степени тяжести. Согласно данным, более 99,5 % пациентов достигают полной независимости от очков после таких вмешательств [3].

Результаты исследования, проведенного Управлением по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных средств США (FDA), свидетельствуют о том, что в среднем 95 % пациентов удовлетворены проведенным им лечением с использованием методов РХ [4].

Понятие РХ сегодня значительно расширилось, выходя за рамки традиционной «лазерной коррекции зрения». Развитие технологии фемтосекундных лазеров привело к усовершенствованию классического лазерного кератомилеза in situ (LASIK) и появлению процедуры рефракционной экстракции лентикулы через небольшой разрез (SMILE) [5]. Кроме того, арсенал рефракционных вмешательств пополнился новыми типами имплантатов — от внутрироговичных до внутриглазных.

В целом РХ является достаточно безопасным методом медицинского вмешательства. Тем не менее, существуют противопоказания, которые можно разделить на две категории: абсолютные и относительные [6]. К абсолютным противопоказаниям относятся: возраст менее 18 лет, отсутствие рефракционной стабильности, наличие ряда глазных патологий, таких как некоторые дистрофии роговицы, кератоконус, плохо контролируемый синдром «сухого глаза», а также системные заболевания, включая активные аутоиммунные процессы или плохо контролируемый сахарный диабет. К относительным противопоказаниям можно отнести использование некоторых лекарственных препаратов, например амиодарона или изотретиноина, экстремальные значения кератометрии и пахиметрии роговицы, анамнез предшествующих увеитов или глаукомы, беременность и период лактации.

Методы предоперационной оценки в РХ

В настоящее время существуют и активно совершенствуются различные технологии предоперационной оценки и визуализации с целью более тщательного отбора пациентов для оперативного вмешательства.

Методы РХ подразделяют на две основные категории: кераторефракционную и основанную на имплантации интраокулярных линз (ИОЛ). Эти методы могут применяться в комбинации для устранения сложных рефракционных нарушений. Кераторефракционная хирургия заключается в изменении формы роговичной поверхности, в то время как при ИОЛ в оптическую систему глаза имплантируется искусственная линза. В зависимости от планируемого метода РХ применяются разные способы предоперационного анализа.

Для оценки состояния оптики глаза используются такие методики, как топография роговицы и измерение волнового фронта. Эти диагностические исследования традиционно проводятся на предоперационном этапе при планировании рефракционных вмешательств. Системы компьютерной кератотопографии кривизны, основанные на принципе колец Пласидо являются ценными инструментами для оценки изгиба роговицы и рефракционного статуса, но не обеспечивают получения непосредственного изображения ее реальной формы. Томография роговицы по Шаймпфлюгу, напротив, представляет собой метод трехмерной визуализации, который позволяет охарактеризовать передние и задние поверхности роговицы, а также распределение ее толщины [7]. К другим современным методам оценки топографии роговицы можно отнести высокоразрешающую оптическую когерентную томографию [8].

Аберрометрия и анализ волнового фронта — методы диагностики, которые позволяют определить имеющиеся в зрительной системе человека оптические искаже-

ния (абберации), как низших (близорукость, дальнозоркость и астигматизм), так и высших порядков. Данные аберрометрии могут использоваться для создания индивидуальных профилей абляции, которые направлены на коррекцию рефракции и аббераций более высокого порядка [9].

Для оценки морфометрических показателей роговицы, а также оптической плотности хрусталика активно применяются объективные и надежные методы денситометрии, такие как визуализация с использованием Шеймпфлюг-камеры [10].

В последние годы в медицину активно проникают технологии искусственного интеллекта и машинного обучения. Многослойные нейронные сети, особенно свёрточного типа, достигли впечатляющих результатов в классификации изображений во многих медицинских областях. Аналогичные технологии уже много лет исследуются в РХ, например, в диагностике кератоконуса [11]. Другой задачей РХ, которую можно решать с помощью методов машинного обучения является расчет оптической силы интраокулярной линзы, взамен использования стандартных формул [12].

В целом предоперационная оценка имеет важное значение для исключения любых противопоказаний, связанных с состоянием роговицы. Особенно критичным является выявление признаков субклинического кератоконуса, поскольку это позволяет предотвратить развитие ятрогенной послеоперационной кератэктазии [13].

Методы кераторефракционной хирургии глаза

Кераторефракционная хирургия, по своей сути, включает в себя лечение нарушений рефракции путем изменения формы роговицы — традиционно с помощью эксимерного лазера, но теперь возможно с использованием только фемтосекундного лазера посредством рефракционной экстракции лентикул. Наиболее распространенной операцией такого типа является лазерный кератомилез *in situ* (метод LASIK) [3]. За последние годы классический метод LASIK был значительно усовершенствован в Femto-LASIK, при котором лоскут (flap) на поверхности роговицы готовится с помощью фемтосекундного лазера [14].

Также вариантом кераторефракционной хирургии является лазерная коррекция пресбиопии — лазерное смешанное зрение (LBV), суть которого заключается в увеличении глубины фокуса для каждого глаза за счет использования оригинального, нелинейного и асферического профиля лазерной абляции. Метод позволяет получить положительные результаты в 95 % случаев [15].

Экстракция роговичной линтикулы через малый разрез с помощью процедуры SMILE

После внедрения в офтальмологическую практику фемтосекундного лазера была разработана полностью основанная на нем процедура, называемая SMILE. Это минимально инвазивная и популярная в мире методика, которая позволяет корректировать различные нарушения зрения, такие как близорукость и астигматизм. Процедура SMILE выполняется с использованием фемтосекундного лазера, который позволяет изменять форму роговицы. Данный лазер генерирует сверхкороткие импульсы в ближнем инфракрасном диапазоне, аналогично тому, как это происходит при формировании лоскута при проведении LASIK. Высокая пиковая интенсивность лазерного излучения в течение крайне короткого импульса (на уровне фемтосекунд) дает возможность создавать микроскопические одиночные полости (пузырьки), которые в совокупности образуют разрез или плоскость в роговичной ткани, не затрагивая окружающие структуры. Для создания небольшого линзовидного фрагмента роговичной ткани (так называемой линтикулы) внутри роговицы требуется менее 30 секунд работы лазера. После этого хирург извлекает линтикулу через небольшой разрез на внешней части глаза. Таким образом изменяется форма роговицы, позволяя скорректировать имеющуюся рефракционную аномалию. Фемтосекундный лазер создает тонкий разрез непосредственно под поверхностью роговицы, а также небольшое отверстие для извлечения линтикулы. Это практически бесшумная процедура, при которой у пациента не возникает постороннего запаха, а он может оставаться в одной позиции на протяжении всего хирургического вмешательства. SMILE имеет два основных преимущества по сравнению с LASIK: более быстрое восстановление симптомов сухого глаза и лучший контроль сферической аберрации [16].

Имплантация факичных интраокулярных линз

Факичные интраокулярные линзы (ФИОЛ) — единственный метод терапии для пациентов с высокими степенями близорукости (до -25 – -30 диоптрий), дальнозоркости (до $+15$ – $+20$ диоптрий) или астигматизма (до 6 – 8 диоптрий), а также для тех, кому из-за противопоказаний невозможно проведение лазерной коррекции зрения. ФИОЛ бывают двух видов: переднекамерные и заднекамерные. Имплантация факичных линз по своей сути аналогична коррекции с помощью контактных линз, но с тем отличием, что последние надеваются на роговицу, а факичные линзы имплантируются внутрь глаза — в заднюю или переднюю камеру с сохранением естественного хрусталика. Установка положительной или отрицательной линзы позволяет сфокусировать изображение непосредственно на сетчатке, в отличие от близорукости, когда фокус формируется перед сетчаткой, или дальнозоркости, когда он располагается позади нее [18].

На сегодняшний день наиболее часто применяются заднекамерные модели факичных линз. Эти линзы устанавливаются непосредственно за радужкой, перед хрусталиком, что обеспечивает оптимальные оптические результаты. При необходимости факичные линзы могут быть извлечены из глаза без нарушения его структуры и анатомии, поэтому данное вмешательство считается одним из немногих обратимых методов РХ.

Имплантация факичных линз выполняется через самогерметизирующийся микродоступ размером около 2 мм, не требующий наложения швов. Вся процедура занимает 10 – 15 минут без госпитализации пациента. Используется капельная анестезия, которая легко переносится людьми разных возрастов. После операции пациент достаточно быстро возвращается к привычному образу жизни, при этом ограничения минимальны и в основном касаются гигиенических процедур в первое время [17].

Рефракционная замена хрусталика

Рефракционная замена хрусталика или экстракция прозрачного хрусталика — удаление прозрачного хрусталика и установка ИОЛ, которая заменяет или улучшает рефракционную способность глаза [19]. Операция может быть выполнена у отдельных пациентов, у которых лазерная хирургия роговицы невозможна или не позволяет достичь желаемого результата. Рефракционная замена хрусталика остается спорным вопросом в некоторых клинических практиках, поскольку эндофтальмит может быть более разрушительным по сравнению с риском инфекции роговицы, которая сопутствует кераторефракционной хирургии. Более того, рефракционная замена хрусталика может иметь более высокий риск осложнений, таких как отслоение сетчатки, по сравнению с обычной операцией по удалению катаракты, у пациентов молодого возраста и с выраженной миопией.

Главным преимуществом рефракционной замены хрусталика является то, что любые формы рефракционных нарушений могут быть скорректированы за счет конструкции ИОЛ. В настоящее время широко применяются асферические ИОЛ, поскольку они соответствуют оптическим характеристикам естественного хрусталика и компенсируют положительную сферическую аберрацию роговицы, обеспечивая более четкое зрение при больших размерах зрачка или в условиях слабого освещения.

Данный метод РХ, сочетающий коррекцию рефракционной ошибки с удалением катаракты, идеально подходит для пациентов с высокими степенями близорукости или дальнозоркости, у которых уже началось помутнение хрусталика. В этих случаях рано или поздно встает вопрос об устранении катаракты. Поэтому вполне логич-

но провести оба эти вмешательства за одну операцию, позволяя пациенту восстановить хорошее зрение без необходимости использования очков или линз.

Астигматизм также может быть скорректирован с помощью торических ИОЛ, имеющих различную преломляющую силу в разных меридианах. Однако для оптимальной коррекции астигматизма хирургу необходимо тщательно выставить правильную ориентацию ИОЛ внутри глаза, поскольку каждое смещение на 3 градуса приводит к потере 10 % астигматической коррекции [1].

Заключение

Область РХ стремительно развивается, и ее невозможно всесторонне описать в данном обзоре, поскольку существует широкий спектр вариантов коррекции рефракционных ошибок. Технологические достижения и инновации в последние года значительно расширили возможности РХ для пациентов. Улучшенная предоперационная диагностика позволяет проводить индивидуальные лазерные абляции для достижения наилучшего качества зрения. Разработки в области предоперационной и интраоперационной оптической когерентной томографии улучшают хирургическое планирование

и точность выполнения разрезов или размещения имплантатов.

Кераторефракционная хирургия в настоящее время признана безопасным и эффективным методом лечения нарушений рефракции глаз, обеспечивающим отличные визуальные результаты, повышение качества жизни и высокую удовлетворенность пациентов. Метод SMILE является минимально инвазивной бесшовной процедурой, которая продолжает совершенствоваться и достигает сопоставимых результатов с традиционным LASIK.

Учитывая новые тенденции, офтальмологам важно знать преимущества и недостатки каждого варианта РХ по сравнению с оптической коррекцией, уделяя особое внимание тщательному и правильному отбору пациентов. В недалеком будущем РХ может управляться искусственным интеллектом, где множественные диагностические инструменты, получая исчерпывающую информацию о глазе, будут помогать хирургу выбирать наилучший метод коррекции для каждого конкретного пациента. Кроме того, ожидается развитие фармакологических методов профилактики и лечения рефракционных нарушений, таких как предотвращение прогрессирования миопии и остановка старения хрусталика при пресбиопии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ang M, Gatineau D, Reinstein DZ, et al. Refractive surgery beyond 2020. *Eye*. 2021; 35(2): 362–382. doi:10.1038/s41433-020-1096-5.
2. Sugar A, Hood CT, Mian SI. Patient-Reported Outcomes Following LASIK: Quality of Life in the PROWL Studies. *JAMA*. 2017; 317(2): 204–205. doi:10.1001/jama.2016.19323.
3. Sandoval HP, Donnenfeld ED, Kohner T, et al. Modern laser in situ keratomileusis outcomes. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2016; 42(8): 1224–1234. doi:10.1016/j.jcrs.2016.07.012.
4. Eydeman M, Hilmantel G, Tarver ME, et al. Symptoms and satisfaction of patients in the patient-reported outcomes with laser in situ keratomileusis (PROWL) studies. *JAMA ophthalmology*. 2017; 135(1): 13–22. doi:10.1001/jamaophthalmol.2016.4587.
5. Ang M, Mehta JS, Chan C, et al. Refractive lenticule extraction: transition and comparison of 3 surgical techniques. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2014; 40(9): 1415–1424. doi:10.1016/j.jcrs.2013.12.026.
6. Ortega-Usobiaga J, Rocha-de-Lossada C, Llovet-Rausell A, Llovet-Osuna F. Update on contraindications in laser corneal refractive surgery. *Archivos De La Sociedad Espanola De Oftalmologia*. 2023; 98(2): 105–111. doi:10.1016/j.oftale.2022.07.003.
7. Mi H, Tan N, Ang M, et al. Comparison of anterior and posterior topographic analysis between 3 imaging systems. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2015; 41(11): 2533–2545. doi:10.1016/j.jcrs.2015.05.039.
8. Bouma BE, de Boer JF, Huang D, et al. Optical coherence tomography. *Nature Reviews. Methods Primers*. 2022; 2: 79. doi:10.1038/s43586-022-00162-2.
9. Amigó A, Martínez-Sorribes P, Recuerda M. Refractive Changes Induced by Spherical Aberration in Laser Correction Procedures: An Adaptive Optics Study. *Journal of Refractive Surgery (Thorofare, N.J.)*. 2017; 33(7): 470–474. doi:10.3928/1081597X-20170504-07.
10. Cabot F, Saad A, McAlinden C, et al. Objective assessment of crystalline lens opacity level by measuring ocular light scattering with a double-pass system. *American Journal of Ophthalmology*. 2013; 155(4): 629–635. doi:10.1016/j.ajo.2012.11.005.
11. Yousefi S, Yousefi E, Takahashi H, et al. Keratoconus severity identification using unsupervised machine learning. *PLoS One*. 2018; 13(11): e0205998. doi:10.1371/journal.pone.0205998.
12. Connell BJ, Kane JX. Comparison of the Kane formula with existing formulas for intraocular lens power selection. *BMJ open ophthalmology*. 2019; 4(1): e000251. doi:10.1136/bmjophth-2018-000251.
13. Lin Q, Zheng L, Lin X, Wang Q. Keratectasia after laser-assisted subepithelial keratectomy for myopia. *Medicine*. 2018; 97(12): e0094. doi:10.1097/MD.00000000000010094.
14. Vieira R, Marta A, Abreu AC, et al. Quality of Vision After LASIK, PRK and FemtoLASIK: An Analysis Using the Double Pass Imaging System HD Analyzer™. *Clinical Ophthalmology (Auckland, N.Z.)*. 2022; 16: 3351–3359. doi:10.2147/OPHT.S373448.
15. Fu D, Aruma A, Xu Y, et al. Refractive outcomes and optical quality of PRESBYOND laser-blended vision for presbyopia correction. *International Journal of Ophthalmology*. 2022; 15(10): 1671–1675. doi:10.18240/ijo.2022.10.16.

16. Moshirfar M, McCaughey MV, Reinstein DZ, et al. Small-incision lenticule extraction. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2015; 41(3): 652–665. doi:10.1016/j.jcrs.2015.02.006.
17. Jonker SMR, Berendschot TTJM, Saelens IEY, et al. Phakic intraocular lenses: An overview. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2020; 68(12): 2779–2796. doi:10.4103/ijo.IJO_2995_20.
18. Moshirfar M, Webster CR, Ronquillo YC. Phakic intraocular lenses: an update and review for the treatment of myopia and myopic astigmatism in the United States. *Current Opinion in Ophthalmology*. 2022; 33(5): 453–463. doi:10.1097/ICU.0000000000000870.
19. Alio JL, Grzybowski A, El Aswad A, Romaniuk D. Refractive lens exchange. *Survey of Ophthalmology*. 2014; 59(6): 579–598. doi:10.1016/j.survophthal.2014.04.004.

© Смотрич Евгения Александровна (doctor.smotrich@yandex.ru); Кузнецова Алина Сергеевна (dockuznetsova@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОСОБЕННОСТИ ОРТОДОНТИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ АППАРАТАМИ БЫСТРОГО НЕБНОГО РАСШИРЕНИЯ

FEATURES OF ORTHODONTIC TREATMENT OF PATIENTS WITH RAPID PALATINE DILATION DEVICES

K. Sofronitskaya
S. Fischev
A. Sevastyanov
S. Pavlova
A. Shtorina
M. Puzdyreva
O. Filatova
N. Nioradze

Summary. During the period of the beginning of active growth of the maxillofacial system, the question of the choice of methods, as well as the validity of treatment, becomes relevant to the doctor. Often, not one dental anomaly is diagnosed at the same time, but several, which complicates and lengthens treatment, and also requires the use of combined treatment methods. A clinical case of combined treatment of a patient with mesial occlusion is considered, and the main criteria for choosing a rapid palatal dilation device in orthodontic practice are determined.

Keywords: orthodontic treatment, dento-maxillofacial abnormalities, rapid palatal expansion, acrylic reinforced RPE, maxillary micrognathia, combination treatment.

Софроницкая Ксения Владимировна

Ассистент, «Санкт-Петербургский государственный
педиатрический медицинский университет»
Министерства здравоохранения РФ
xeniasofronitskaya@mai.ru

Фищев Сергей Борисович

Д.м.н., профессор, «Санкт-Петербургский
государственный педиатрический медицинский
университет» Министерства здравоохранения РФ
super.kant@yandex.ru

Севастьянов Аркадий Владимирович

Д.м.н., профессор, «Санкт-Петербургский
государственный педиатрический медицинский
университет» Министерства здравоохранения РФ
ardy.dkr@mail.ru

Павлова Светлана Георгиевна

К.м.н., доцент, «Санкт-Петербургский государственный
педиатрический медицинский университет»
Министерства здравоохранения РФ
svetap_75@mail.ru

Шторина Анастасия Александровна

К.м.н., доцент, «Санкт-Петербургский государственный
педиатрический медицинский университет»
Министерства здравоохранения РФ
nastiya78@mail.ru

Пуздырева Маргарита Николаевна

К.м.н., доцент, «Санкт-Петербургский
государственный педиатрический медицинский
университет» Министерства здравоохранения РФ
seven-spb@yandex.ru

Филатова Ольга Олеговна

Ассистент, «Санкт-Петербургский государственный
педиатрический медицинский университет»
Министерства здравоохранения РФ
md.filatovaolga@gmail.com

Ниорадзе Мария Гурамовна

Ассистент, «Санкт-Петербургский государственный
педиатрический медицинский университет»
Министерства здравоохранения РФ
nioradze.masha@mail.ru

Аннотация. В период начала активного роста челюстно-лицевой системы перед врачом становится актуальным вопрос, о выборе методов, а также обоснованности лечения. Зачастую одновременно диагностируется не одна зубочелюстная аномалия, а несколько, что усложняет и удлиняет лечение, а также требует использования комбинированных методов лечения. Рассмотрен клинический случай комбинированного лечения пациента с мезиальной окклюзией, а также определяются основные критерии выбора аппарата быстрого небного расширения в ортодонтической практике.

Ключевые слова: ортодонтическое лечение, зубочелюстные аномалии, небное расширение, аппарат быстрого небного расширения, микрогнатия верхней челюсти, комбинированное лечение.

Результаты научных исследований свидетельствуют о высокой встречаемости зубочелюстных аномалий: среди детей 3-х летнего возраста от 48,7 до 75,1 %; у детей от 3 до 7 лет — 59,3 %; у подростков и молодых людей от 15 до 21 года встречаемость зубочелюстных аномалий составляет от 41,1 % до 95,3 % [1]. Активный рост зубочелюстных аномалий отмечается у детей с 10 до 13 лет, что связано не только с активной фазой роста в данный возрастной период, но и с несвоевременно и неадекватно проведенным лечением в предыдущий период. Вместе с тем 70,4 % всех зубочелюстных аномалий носят сочетанный характер [2, 3, 4, 5].

Baysal A., Uysal T. основными факторами развития микрогнатии и/или ретропозиции верхней челюсти у детей выделяют: генетическую предрасположенность (48,4 %), вредные привычки (42,1 %), родовые травмы (14,7 %), болезни матери в период первого триместра беременности (9,1 %), расщелины твердого и мягкого неба (1,7 %) [6, 7, 8, 9].

Дети, страдающие несколькими патологиями челюстно-лицевой системы, требуют особого внимания и более осознанного подхода к ортодонтическому лечению. Когда ребенок находится в активном росте, перед врачом встает сложный вопрос: какие методы лечения использовать и насколько они целесообразны. Важно понимать, что лечение нескольких патологий одновременно требует комплексного подхода.

Выбор метода лечения зависит от многих факторов, таких как: возраст ребенка, степени выраженности патологии, характера патологии, общего состояния здоровья ребенка. Также немаловажным является своевременность выявления нарушений. Целью раннего лечения является уменьшение степени проявления и формирования патологии прикуса, создание условий для нормального роста, а также снижение инвазивности второго этапа лечения. Второй этап должен быть краткосрочен, а также проходить с минимальным количеством ортодонтической аппаратуры [10, 11, 12, 13].

Цель исследования — определить основные критерии выбора аппарата быстрого небного расширения в ортодонтической практике.

Материалы и методы

Проведено обследование и ортодонтическое лечение 38 детей (8–12 лет), нуждающихся в применении аппарата быстрого небного расширения.

При клиническом обследовании собирали анамнез, регистрировали жалобы пациентов, выполняли осмотр полости рта. Проводили рентгенологические и морфометрические исследования, изготавливали контрольно-

диагностические гипсовые модели челюстей, изучали ортопантомограммы, компьютерные томограммы и телерентгенограммы в боковой проекции.

Тип зубных дуг оценивали с учетом рекомендаций Севастьянова А.В. и к нормодонтным типам относили зубные дуги, длина которых составляла от 110 до 119 мм. Макродонтными считали дуги, у которых сумма ширины коронок 14 зубов составляла более 120 мм, а микродонтными — менее 110 мм.

Результаты исследования

Для определения показаний к применению метода быстрого небного расширения оценивали следующие параметры:

1. Соответствие ширины апикальных базисов верхней и нижней челюстей. При сужении небного свода меньше 26 мм на уровне моляров может быть показано применение методов быстрого небного расширения [7].
2. Степень несоответствия между шириной верхнего и нижнего зубного ряда. Если это несоответствие превышает 5 мм, следует рассмотреть возможность быстрого небного расширения.
3. Выраженность перекрестного прикуса.
4. Вестибуло-оральный наклон верхних моляров и премоляров, а также степень его выраженности.
5. Наклон моляров на нижней челюсти. При наличии лингвального наклона вероятность проведения быстрого небного расширения увеличивается.
6. Возраст и пол пациента. По исследованию Krebs A. (1964) у пациентов до 13 лет при применении расширяющих аппаратов, расширение происходит в 50 % скелетное, а в 50 % — зубоальвеолярное. Скелетное расширение уменьшилось на 30 % у мальчиков в возрасте 14 лет. Среди пациентов девочек процент снижения эффективности скелетного расширения при RME снижался в более раннем возрасте [8].
7. Наличие места для расширения.
8. Тип пародонта. Тонкий биотип может способствовать образованию рецессий.

Основными показаниями для расширения верхней челюсти являются: исправление двустороннего перекрестного прикуса (Bilateral Posterior Crossbite), обратного прикуса в области передних зубов (Anterior Permanent Incisor Crossbite), одностороннего перекрестного прикуса (Unilateral Posterior Crossbite), а также скученного положения зубов (Absence of Posterior Crossbite (Crowding)).

В основе методики быстрого небного расширения лежит применение аппаратов механического действия, которые в результате воздействия приводят к раскры-

тию срединного небного шва. Аппараты для расширения можно разделить на четыре основные группы:

1. Аппараты, с фиксацией только на кольцах — типа Нугех, Бидермана/Biedermann, Derichsweile [9];
2. Аппараты с фиксацией на кольцах и с пластмассовым базисом — типа Хааса/Naas, Марко-Росса [10];
3. Аппараты капповой фиксации — МакНамара/McNamara;
4. Аппараты на костной фиксации — транспалатинальный дистрактор

Все группы аппаратов способствуют расширению верхней челюсти (т.е. увеличению средней площади поверхности, периметра зубных рядов и межмолярного линейного расстояния). Однако аппарат Naas демонстрирует ортопедический эффект (т. е. увеличение срединно-небного расстояния), а аппараты Нугех — зубочелюстное расширение за счет увеличения вестибулярного наклона опорных зубов (40 % от всего расширения) [11].

Одним из перспективных подходов является применение аппаратов RME (Rapid Maxillary Expansion) с опорой на мини-имплантаты. Такой подход особенно актуален при лечении «растущих» пациентов с трансверзальным и саггитальным недоразвитием верхней челюсти, а также наличием показаний для протракции верхней челюсти. Преимущества использования мини-имплантатов в аппаратах RME обусловлены их способностью обеспечить сильный скелетный эффект, так как имплантаты фиксируются непосредственно в базальную кость верхней челюсти, что гарантирует более стабильную опору для аппарата и позволяет передавать силу расширения непосредственно костной структуре, а также

минимизировать влияние на постоянные зубы и добиться исключительно ортопедического перемещения [13].

Эффект расширения считается достигнутым, когда верхушки лингвальных бугров первых верхних постоянных моляров входят в контакт с верхушками щечных бугров первых нижних постоянных моляров [8]. Активная фаза лечения, как правило, продолжается в течение 14–28 дней, далее наступает ретенционный период с продолжением ношения аппарата — 3–6 месяцев. М. Rosa в своих исследованиях рекомендует увеличивать время ретенционного периода до 1 года и полного прорезывания латеральных резцов [14].

Для иллюстрации приводим выписку из амбулаторной карты № 125 пациента Л., 8 лет, иллюстрирующую применение аппарата быстрого небного расширения в модификации Naas в комбинации с лечением на элайнерах. Для описания клинического случая было получено информированное добровольное согласие для публикации данных из истории болезни.

Жалобы: на неправильное положение зубов, перекрытие верхних зубов нижними. Диагноз: обратное резцовое перекрытие, сужение зубных рядов верхней челюсти, сужение апикального базиса верхней челюсти, тенденция к формированию мезиальной окклюзии, дефицит места для прорезывания постоянных зубов, ретрузия резцов на верхней челюсти.

Рекомендовано: быстрое небное расширение верхней челюсти с опорой на вторые моляры на верхней челюсти, исправление положение зубов на брекет-системе или элайнерах, наблюдение у стоматолога-терапевта.

На рис. 2 представлены зубные ряды пациента после проведенного расширения зубных рядов с использова-

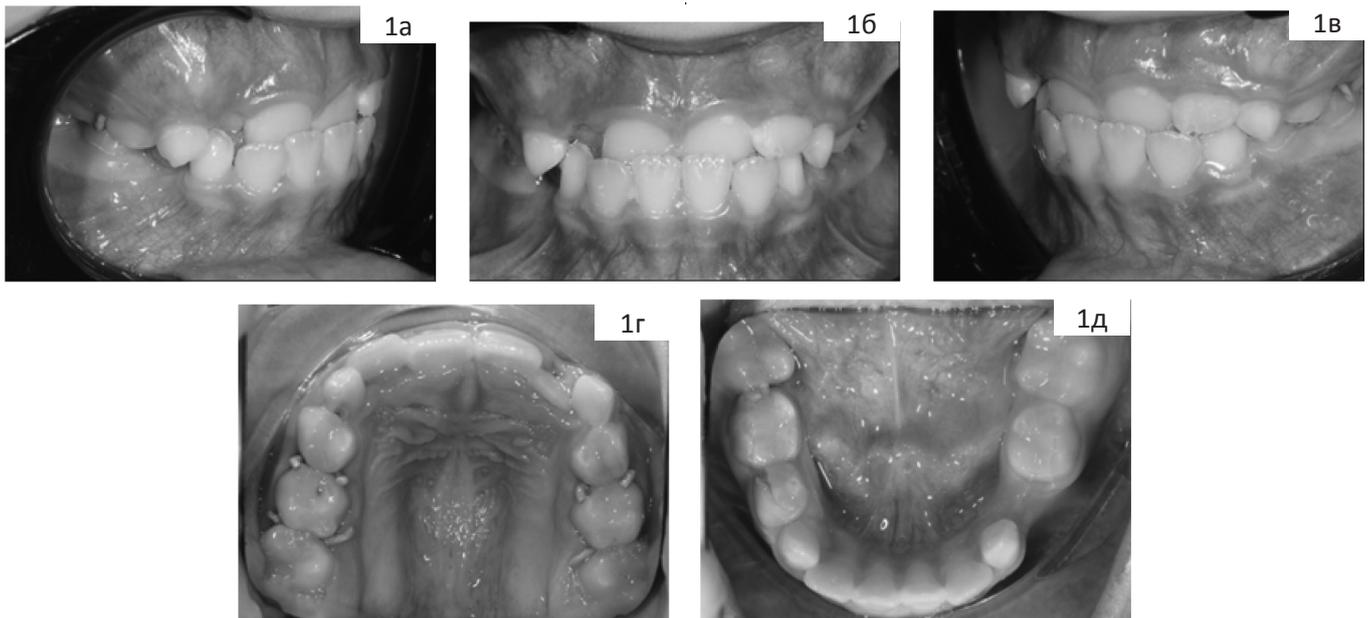


Рис. 1. Зубные ряды пациента Л., 8 лет: а — передняя правая проекция; б — передняя проекция; в — передняя левая проекция; г — проекция верхнего зубного ряда; д — проекция нижнего зубного ряда

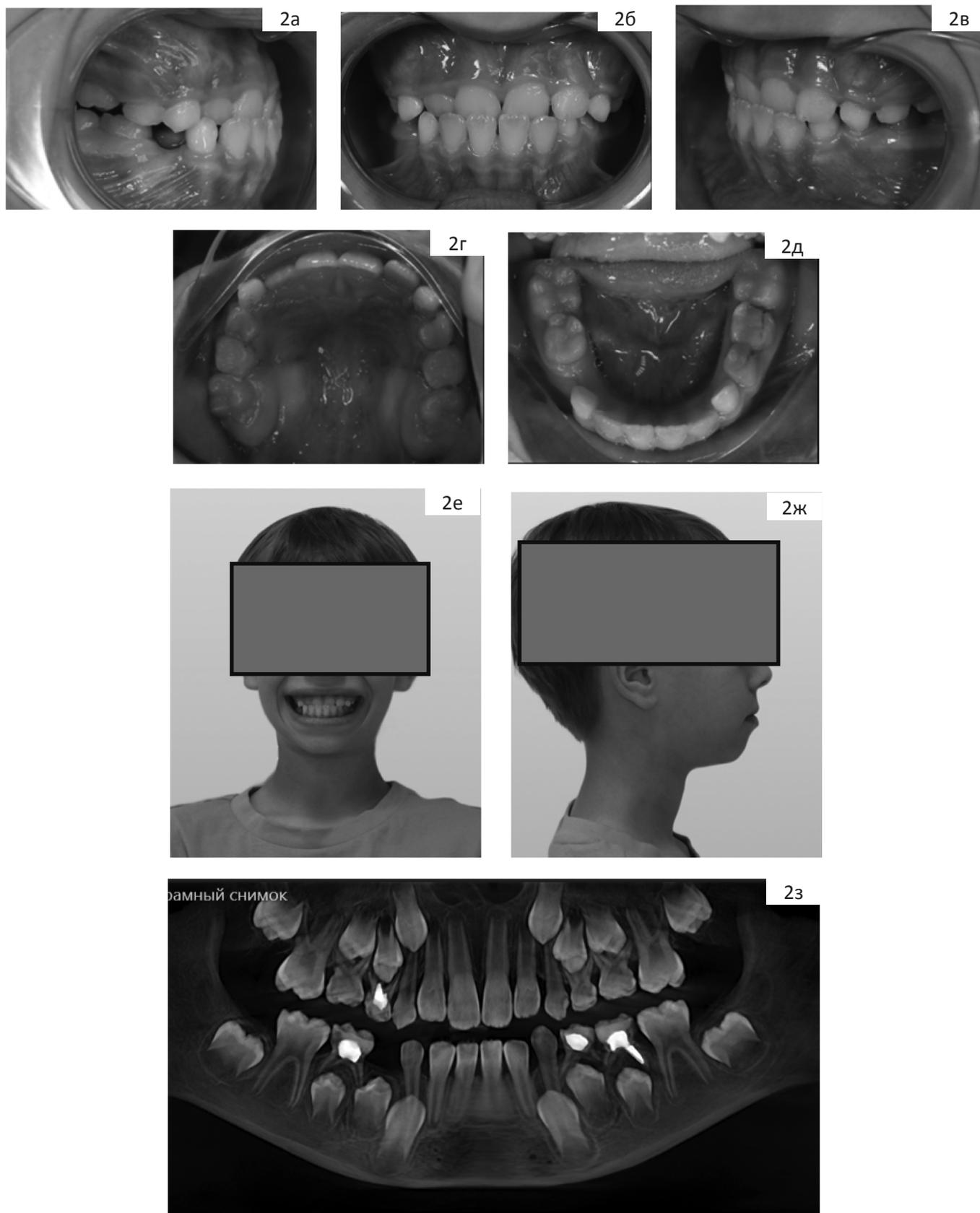


Рис. 2. Зубные ряды пациента Л., 9 лет, через 5 недель после начала лечения на аппарате для расширения верхней челюсти, снятие аппарата с целью перехода на второй этап лечения: а — передняя правая проекция; б — передняя проекция; в — передняя левая проекция; г — проекция верхнего зубного ряда; д — проекция нижнего зубного ряда; е — фото лица в анфас; ж — фото лица в профиль; з — ортопантомограмма после завершения первого этапа

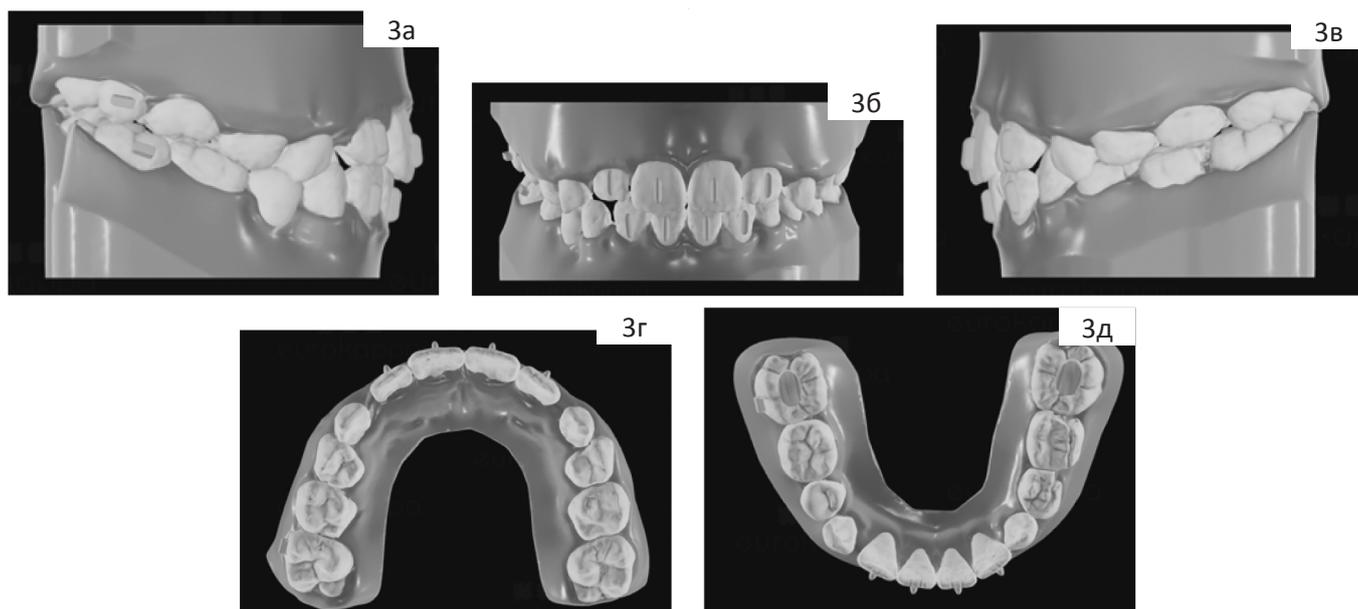


Рис. 3. Зубные ряды пациента Л., 9 лет, после проведения моделирования будущего положения зубов: а — передняя правая проекция; б — передняя проекция; в — передняя левая проекция; г — проекция верхнего зубного ряда; д — проекция нижнего зубного ряда

нием аппарата Хаас. Активация винта была назначена на 1 оборот 1 раз в день в течение 5-ти недель. Достигнуто расширение зубных рядов на верхней челюсти на 8 мм (оценка полученного расширения проводилась по протоколу Penn), обратное резцовое перекрытие за счет ретрузии резцов на верхней челюсти сохраняется.

Вторым этапом было проведено лечение на элайнерах. Основными целями лечения были: торковое расширение боковых зубов на нижнем зубном ряду, нивелирование зубов на верхней и нижней челюсти, коррекция положения центральной линии, коррекция ретрузионного положения резцов на верхней челюсти. Замена каждого элайнера осуществлялась 1 раз в 10 дней. Общий срок лечения составил 5 месяцев (Рисунок 3).

Результатом первых этапов лечения явилась стабильная окклюзия, улучшение лицевых параметров. На рис. 4 представлена клиническая картина после использования элайнеров.

Заключение

Анализ литературы и собственные клинические наблюдения показывают, что расширение верхней челюсти является эффективным методом коррекции различ-

ных патологий прикуса. В настоящее время доступны различные вариации расширения верхней челюсти, подходящие для пациентов всех возрастов, с учетом индивидуальных факторов. К этим факторам относятся: зрелость небного шва, наличие или отсутствие опорных зубов, степень несоответствия между шириной верхнего и нижнего зубного ряда, выраженность перекрестного прикуса, возраст и пол пациента, наличие места для расширения, тип пародонта.

У детей, особенно в период временного и сменного прикуса, более эффективно применять аппараты с назубной фиксацией и небным базисом, тогда как для взрослых пациентов лучше подходят аппараты с на костной фиксацией. Применение микроимплантатов как опоры для расширяющих аппаратов позволяют увеличить показания для применения, получить ортопедический эффект расширения, а также минимизировать побочные эффекты, а именно фенестрации, дегисценции и вестибулярный наклон моляров. Применение методики быстрого небного расширения позволяет добиться положительных результатов в краткосрочные сроки, без опоры на постоянные зубы, минимизировать необходимость кооперации с пациентом, а также проводить лечение во второй фазе без использования дополнительной аппаратуры.

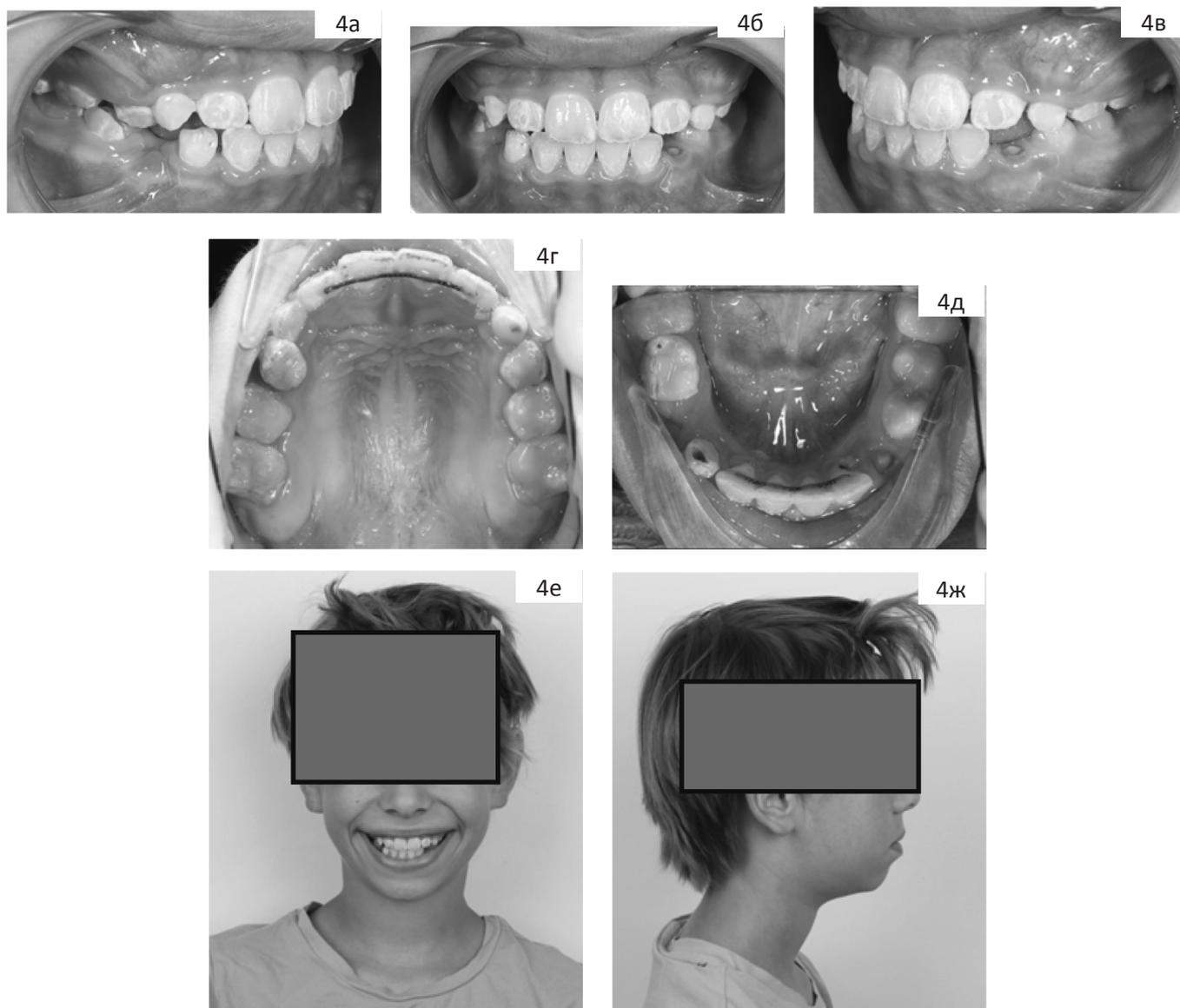


Рис. 4. Зубные ряды пациента Л., 10 лет, после этапа лечения на элайнерах: а — передняя правая проекция; б — передняя проекция; в — передняя левая проекция; г — проекция верхнего зубного ряда; д — проекция нижнего зубного ряда; е — фото лица в анфас; ж — фото лица в профиль

ЛИТЕРАТУРА

1. Багненко Н.М., Багненко А.С., Гребнев Г.А. Распространенность зубочелюстных аномалий у детей школьного возраста в Ленинградской области // *Российская стоматология*, 2015;8(4): С.70-76. DOI:10.17116/rosstomat20158470-76.
2. Олесов Е.Е., Каганова О.С., Фазылова Т.А., Миргазизов М.З., Ильин А.А., Шугайлов И.А. Динамика структуры и тяжести зубочелюстных аномалий на фоне раннего ортодонтического лечения в период сменного прикуса // *Клиническая практика*. 2019. No 3 (10). С. 19–25. DOI: 10.17816/clinpract10319–25.
3. Fischev S.B., Puzdyryova M.N., Dmitrienko S.V., Domenyuk D.A., Kondratyuk A.A. Morphological features of dentofacial area in peoples with dental arch issues combined with occlusion anomalies // *Archiv EuroMedica*. — 2019. — Т. 9. — № 1. — P. 162–163.
4. Kondratyuk A., Subbotin R., Lepilin A., Puzdreva M., Fischev S., Sevastynov A., Doenyuk D, Rozhkova M. Dependence of facial morphometric parameters from masticatory muscles tone in people with horizontal type of increased dental abrasion // *Archiv euromedica*. — 2019. — vol. 9. Num. 3. — P. 91–96.
5. Puzdyryova M.N., Fischev S.B., Dmitrienko S.V., Domenyuk D.A., Kondratyuk A.A. Morphological features of dentofacial area in people with dental arch issues combined with occlusion anomalies // *Archiv euromedica*. — 2019. — vol. 9, Num. 1. — P.162–163.
6. Evaluation of alveolar bone loss following rapid maxillary expansion using cone-beam computed tomography. Baysal A. [et. all] *J Orthod*. 2013; 43: 83–95.
7. Фадеев Р.А., Пономарева Е.А. Методики быстрого небного расширения. Сравнительная оценка, показания к применению (Часть I) // *Институт Стоматологии*. — 2014. — No3(64). — С. 28–30.

8. Biederman W. Rapid correction of Class III malocclusion by midpalatal expansion. *Amer. J. Orthod.* 1973;(63):47–55. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(73\)90109-7](https://doi.org/10.1016/0002-9416(73)90109-7)
9. Bishara S.E. Staley R.N. Maxillary expansion clinical implications. *Amer. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 1987; (91): 3–14. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(87\)90202-2](https://doi.org/10.1016/0889-5406(87)90202-2)
10. Смирнова А.А., Гаврилова О.А., Моторнова Е.В., Михалева И.И., Федорова К.В., Соколова Л.Н. Показание к применению аппаратов быстрого небного расширения на основании данных конусно-лучевой компьютерной томографии (пилотное исследование)// *Эндодонтия today*, 2022 г.: С. 186 <https://doi.org/10.36377/1726-7242-2022-20-2-183-188>
11. Krebs, A.A.: Midpalatal suture expansion studied by the implant method over a seven-year period, *Trans. Eur. Orthod. Soc.* 40:131–142, 1964.
12. *Rapid Maxillary Expansion* Timms DJ Quintessence Publishing Co Inc, 1981
13. Palatal expansion: Just the beginning of dentofacial orthopedics Haas AJ *Am J Orthod.* 1970;57,3:229–55
14. Nanci L Oliveira, Adriana C Da Silveira, Budi Kusnoto, Grace Viana Three-dimensional assessment of morphologic changes of the maxilla: a comparison of 2 kinds of palatal expanders 2004;126:354–362 doi: 10.1016/j.ajodo.2003.07.008. Skeletal effects (cbct) to the maxilla arter RPE/Hyrax Garret BJ et al *AJODO* 2008;134, 8E1-8E11

© Софроницкая Ксения Владимировна (xeniasofronitskaya@mail.ru); Фищев Сергей Борисович (super.kant@yandex.ru);
Севастьянов Аркадий Владимирович (ardy.dkr@mail.ru); Павлова Светлана Георгиевна (svetar_75@mail.ru);
Шторина Анастасия Александровна (nastiya78@mail.ru); Пуздырева Маргарита Николаевна (seven-spb@yandex.ru);
Филатова Ольга Олеговна (md.filatovaolga@gmail.com); Ниорадзе Мария Гурамовна (nioradze.masha@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИКИ ГЛУБОКОЙ РЕЗЦОВОЙ ДИЗОККЛЮЗИИ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОЦЕФАЛОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

FEATURES OF DIAGNOSIS OF DEEP INCISOR DYSOCCLUSION BY X-RAY CEPHALOMETRIC ANALYSIS

S. Fischev
A. Sevastyanov
A. Klimov
M. Rozhkova
S. Pavlova
A. Kondratyuk
A. Shtorina
M. Puzdyreva

Summary. Deep incisor dysocclusion is characterized by excessive overlap of the front teeth of the upper jaw of the anterior lower teeth and the absence of cutting-tubercle contact between the front teeth. Deep incisor dysocclusion leads to a violation of aesthetics, causes serious functional and morphological changes in the chewing apparatus, which are most clearly manifested in adulthood. Most experts point out that the habitual occlusion in patients with deep incisive dysocclusion becomes stable and complicates subsequent prosthetics aimed primarily at restoring (normalizing) the interalveolar height.

Keywords: orthodontics, deep incisor dysocclusion, telereöntgenography, malocclusion.

Фищев Сергей Борисович

Д.м.н., профессор, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ
super.kant@yandex.ru

Севастьянов Аркадий Владимирович

Д.м.н., профессор, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ
ardy.dkr@mail.ru

Климов Андрей Геннадьевич

К.м.н., доцент Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет
Министерства здравоохранения РФ
pstom4@zdrav.spb.ru

Рожкова Мария Геннадьевна

Ассистент, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
Министерства здравоохранения РФ
rozmaria2010@yandex.ru

Павлова Светлана Георгиевна

К.м.н., доцент, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
Министерства здравоохранения РФ
svetap_75@mail.ru

Кондратюк Андрей Александрович

К.м.н., ассистент, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
Министерства здравоохранения РФ
kondratyuk.andrey@icloud.com

Шторина Анастасия Александровна

К.м.н., доцент, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
Министерства здравоохранения РФ
nastiya78@mail.ru

Пузырева Маргарита Николаевна

К.м.н., доцент, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
Министерства здравоохранения РФ
seven-spb@yandex.ru

Аннотация. Глубокая резцовая дизокклюзия характеризуется чрезмерным перекрытием передними зубами верхней челюсти передних нижних зубов и отсутствием режуще-бугоркового контакта между передними зубами. Глубокая резцовая дизокклюзия приводит к нарушению эстетики, вызывает серьезные функциональные и морфологические изменения жевательного аппарата, которые наиболее отчетливо проявляются во взрослом возрасте. Большинство специалистов указывают на то, что привычная окклюзия у пациентов с глубокой резцовой дизокклюзией становится устойчивой и затрудняет последующее протезирование, направленное, в первую очередь, на восстановление (нормализацию) межальвеолярной высоты.

Ключевые слова: ортодонтия, глубокая резцовая дизокклюзия, телерентгенография, аномалии прикуса.

Глубокая резцовая дизокклюзия характеризуется чрезмерным перекрытием передними зубами верхней челюсти передних нижних зубов и отсутствием режуще-бугоркового контакта между передними зубами [1, 2, 3, 4]. По различным данным эта патология встречается у 7,2 % — 51,0±1,4 обследованных [5, 6, 7].

Глубокая резцовая дизокклюзия приводит к нарушению эстетики, вызывает серьёзные функциональные и морфологические изменения жевательного аппарата, которые наиболее отчётливо проявляются во взрослом возрасте [8, 9].

Чрезмерное резцовое перекрытие, вызывая блокирование движений нижней челюсти, может служить причиной развития заболеваний височно-нижнечелюстного сустава. Кроме того, частичная утрата зубов, встречающаяся у 97,01 % ± 2,07 % взрослых пациентов с данной аномалией может существенно усилить тяжесть клинической картины заболевания [10].

Большинство специалистов указывают на то, что привычная окклюзия у пациентов с глубокой резцовой дизокклюзией становится устойчивой и затрудняет последующее протезирование, направленное, в первую очередь, на восстановление (нормализацию) межальвеолярной высоты [11, 12].

Цель исследования

Повышение эффективности диагностики глубокой резцовой дизокклюзией на основе рентгеноцефалометрического анализа.

Материалы и методы исследования

В соответствии с поставленными задачами проведено исследование морфометрических параметров лица

у 119 жителей г. Санкт-Петербурга с физиологической окклюзией постоянных зубов. Проведено обследование и лечение 115 пациентов первого периода зрелого возраста с различными формами глубокой резцовой дизокклюзии. Предварительное исследование лица человека при различных формах глубокой резцовой дизокклюзии позволило нам выделить две основные группы пациентов.

В *первую группу* входили 51 пациент с глубокой резцовой дизокклюзией без снижения высоты гнатической части лица.

У 64 пациентов *второй группы* определялись глубокая резцовая дизокклюзия, сопровождающаяся снижением высоты гнатической части лица.

Количество пациентов в группах было примерно одинаковым, что делало группы однородными по указанным признакам.

Телерентгенограммы и получали с помощью аппарата Hitachi 450. При анализе телерентгенограммы использовали известные методики Schwartz, Ди Паоло и т.п.

Рентгеноцефалометрический анализ проводили по компьютерной программе (Трезубов В.Н., Фадеев Р.А. с соавт., 2001), которая позволяла идентифицировать антропометрические точки, строить цефалометрические плоскости, проводить рентгенограммометрию и ставить диагноз (рис. 1).

В исследовании мы использовали одно угловое измерение (угол выпуклости лица n-ss-spm) и шесть линейных (высота нижней части лица по скелетным (sna' — me') и кожным (sn'-Kme') точкам, изменение положения

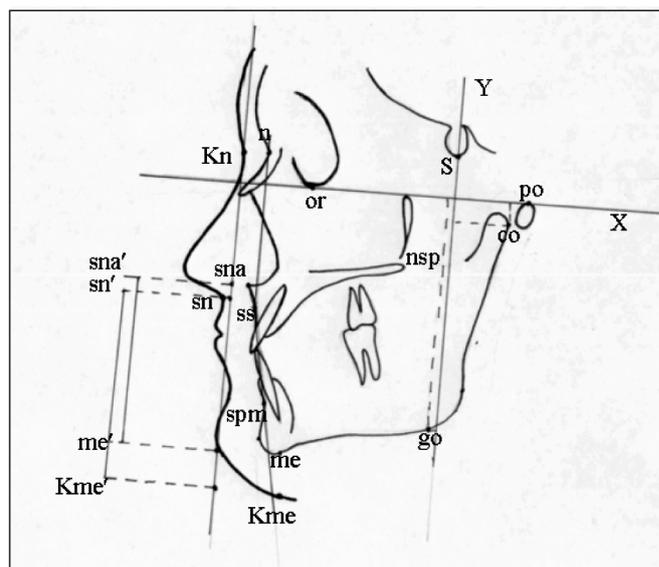
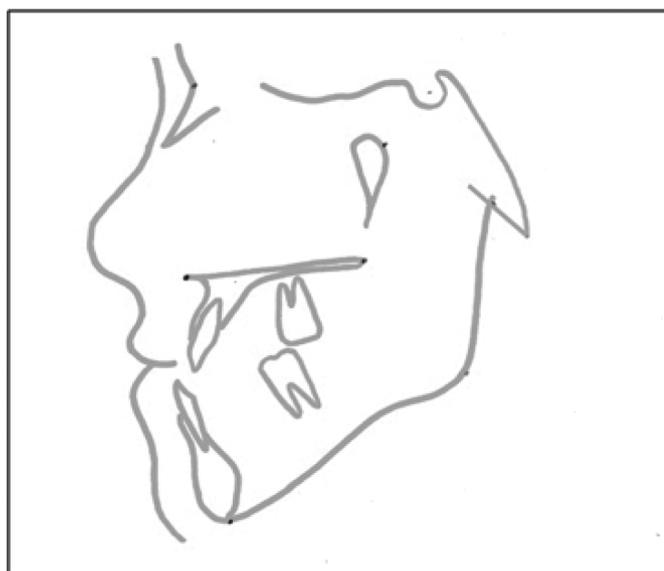


Рис. 1. Фотографии схем телерентгенограммы с нанесенными реперными линиями для анализа

угла (go-x — по вертикали и go-y — по сагиттали) и головки нижней челюсти по вертикали (so-x) и в сагиттальной (so-y) плоскости).

Кроме того, определяли гнатический угол (между спинальной и мандибулярной плоскостями) и гониальный угол (угол между ветвью и телом нижней челюсти).

Измерения зубов, зубных дуг и челюстей проводили как непосредственно в полости рта пациента, так и на гипсовых моделях челюстей. При определении медиально-дистального диаметра коронки ножки штангенциркуля устанавливали параллельно проекции условной срединной вертикали зуба.

Ширину зубных дуг определяли в области первых премоляров и первых моляров по измерительным точкам Пона. Глубину зубной дуги измеряли в сагиттальном направлении по методу Korkhaus и до линии, соединяющей дистальные поверхности вторых постоянных моляров.

Результаты исследования

Для изучения челюстно-лицевой области, взаиморасположение челюстей и определения вертикальных параметров лица, нами был проведён анализ данных телерентгенограмм головы в боковой проекции у людей с физиологической окклюзией постоянных зубов и у пациентов исследуемых групп.

Сравнительная характеристика угловых параметров, полученных, при расшифровке телерентгенограмм головы в боковой представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты анализа телерентгенограмм головы в боковой проекции лиц с физиологическим прикусом постоянных зубов

Основные показатели телерентгенограммы	Результаты исследования
Лицевой угол ANSe	86,1 + 1,31
ANB	2,8 ± 0,28
Гнатический угол	23,7 ± 0,27
Гониальный угол	120,8 + 1,43
Межрезцовый угол	129,4 ± 1,49
Угол выпуклости лица (n-ss-spm) в градусах	171,7 + 4,35
высота нижней части лица по скелетным точкам (sna'—me') в мм	61,76 + 5,32
высота нижней части лица по кожным точкам (sn'-Kme') в мм	62,59 + 4,71

Основные показатели телерентгенограммы	Результаты исследования
Положение угла нижней челюсти по вертикали (go-x) в мм	67,7 + 7,8
Положение угла нижней челюсти по сагиттали (go-y) в мм	1,89 + 0,25
Положение головки нижней челюсти по вертикали (so-x) в мм	9,7 + 2,1
Положение головки нижней челюсти по сагиттали (so-y) в мм	16,8 + 3,7

Расположение челюстей в сагиттальном направлении по отношению к плоскости передней части основания черепа (смещение гнатической части вперёд, назад, вверх или вниз) давало возможность выявить вариант строения черепа, определить профильный тип лица и отклонения от средних размеров, характерных для нормы при том же типе. Несмотря на то, что в целом по группе лицевой угол соответствовал норме, при физиологической окклюзии встречались три профильных типа лица: прогнатический (5,89 %), ортогнатический (86,55 %), ретрогнатический (7,56 %). На тип лица влияли варианты расположения верхней челюсти, которые определяли по величине лицевого угла — ANSe и положение нижней челюсти по величине угла ANB.

По величине лицевого угла судили о ретро- нормо- и антепозиции челюстей. Величина угла ANSe < 85° — оценивалась как ретропозиция (заднее положение), ANSe = 85° — ортопозиция (среднее положение), ANSe > 85° — антепозиция (переднее положение).

Средняя величина окклюзионного и мандибулярного углов, угла горизонтали, положения нижней челюсти к окклюзионной плоскости, угла тела нижней челюсти и нижнего гониального угла у лиц с антепозицией верхней челюсти достоверно больше, чем у лиц с ретропозицией. Не имели достоверных различий у людей с различными вариантами расположения челюстей при физиологической окклюзии следующие углы: соотношение верхней и нижней челюсти относительно друг друга (<ANB), межрезцовый угол, а также угол оси наклона медиального резца верхней челюсти к спинальной плоскости и угол оси наклона медиального резца нижней челюсти к мандибулярной плоскости.

Таким образом, результаты проведенного исследования показали, что основными диагностическими критериями для определения нормальной высоты гнатической части лица могут быть следующие положения:

- высота зубоальвеолярной части верхней челюсти (sn-sto) соответствовала высоте зубоальвеолярной части нижней челюсти (sto-spm);

- высота нижней челюсти (sto-me) в два раза превышала размеры зубоальвеолярной части верхней челюсти (sn-sto);
- высота межгнатического расстояния (sn-spm), как правило, была в два раза больше размеров зубоальвеолярных частей челюстей и соответствовала высоте нижней челюсти (sto-me).

Проведенные исследования нами были использованы для диагностики и определения основных форм уменьшения высоты гнатической части лица при различных патологических состояниях.

Результаты анализа телерентгенограмм пациентов 1 группы приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Основные показатели телерентгенограмм у пациентов I группы

Основные показатели телерентгенограммы	Результаты исследования
Лицевой угол ANSe	85,6 + 1,1
ANB	4,7 + 0,9
Гнатический угол	21,6 + 2,4
Гониальный угол	122,6 + 1,3
Межрезцовый угол	152,6 + 4,8
Угол выпуклости лица (n-ss-spm) в градусах	185,9 + 4,35
высота нижней части лица по скелетным точкам (sna'-me') в мм	56,76 + 5,58
высота нижней части лица по кожным точкам (sn'-Kme') в мм	57,59 + 6,79
Положение угла нижней челюсти по вертикали (go-x) в мм	69,8 + 6,78
Положение угла нижней челюсти по сагиттали (go-y) в мм	1,76 + 0,15
Положение головки нижней челюсти по вертикали (so-x) в мм	9,4 + 2,3
Положение головки нижней челюсти по сагиттали (so-y) в мм	16,1 + 3,4

Результаты исследования показали, что для пациентов 1 группы, у которых отмечалась глубокая резцовая дизокклюзия при сохранении нормальной высоты гнатической части лица, было характерно незначительное уменьшение гнатического угла, при нормальных и несколько увеличенных размерах гониального угла.

Угол выпуклости лица был меньше нормы, что характеризовало выпуклый профиль лица. Высота гнатиче-

ской части лица практически соответствовала показателям у лиц с физиологической окклюзией постоянных зубов.

Положение угла нижней челюсти по сагиттали уменьшалось до 1,76 + 0,15 мм. Положение головки нижней челюсти по сагиттали уменьшалось до 16,1 + 3,4 мм, в то время как по вертикали суставная головка находилась в пределах нормы. Межрезцовый угол был увеличен, как правило, за счет протрузии резцов.

Результаты анализа телерентгенограмм пациентов 2 группы приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Основные показатели телерентгенограмм у пациентов 2 группы

Основные показатели телерентгенограммы	Результаты исследования
Лицевой угол ANSe	87,2 + 4,7
ANB	8,3 + 1,8
Гнатический угол	20,2 + 3,4
Гониальный угол	117,3 + 4,6
Межрезцовый угол	132,6 + 4,8
Угол выпуклости лица (n-ss-spm) в градусах	162,1 + 5,71
высота нижней части лица по скелетным точкам (sna'-me') в мм	60,76 + 5,58
высота нижней части лица по кожным точкам (sn'-Kme') в мм	65,5 + 6,8
Положение угла нижней челюсти по вертикали (go-x) в мм	64,7 + 8,8
Положение угла нижней челюсти по сагиттали (go-y) в мм	0,72 + 0,53
Положение головки нижней челюсти по вертикали (so-x) в мм	7,7 + 4,2
Положение головки нижней челюсти по сагиттали (so-y) в мм	14,1 + 4,4

Результаты исследования показали, что для пациентов 2 группы, было характерно изменение гнатического и гониального углов. Угол выпуклости лица был меньше нормы, что характеризовало выпуклый профиль лица. Высота гнатической части лица была уменьшена за счет смещения нижней челюсти кзади и уменьшения угла нижней челюсти, что было характерно для горизонтального роста нижней челюсти и передней ее ротации. Положение угла нижней челюсти по сагиттали уменьшалось до 0,72 + 0,53 мм. Положение головки нижней челюсти по сагиттали уменьшалось до 14,7 + 4,4 мм, по вертикали положение суставной головки уменьшалось до 7,7 + 4,2.

Заключение

Для определения оптимальной индивидуальной высоты гнатической части лица предложен гнатический индекс, который определяется отношением высоты назомаксиллярного комплекса (n-sto) к высоте назальной части лица (n-sn) и соответствует отношению высоты между точками n-spm в высоте назомаксиллярного комплекса (n-sto) и в норме составляет $1,3 \pm 0,1$. При уменьшении высоты зубоальвеолярной части верхней челюсти соотношение высоты назомаксиллярного комплекса (n-sto) к высоте назальной части лица (n-sn), как правило, меньше 1,2. При уменьшении зубоальвеолярной высо-

ты нижней челюсти отношение высоты между точками n-spm в высоте назомаксиллярного комплекса (n-sto) гнатический индекс также снижался.

Для диагностики форм глубокой резцовой дизокклюзии на телерентгенограммах рекомендуем оценивать угловые измерения (угол выпуклости лица n-ss-spm; гнатический угол и гониальный угол) и шесть линейных (высота нижней части лица по скелетным (sna' — me') и кожным (sn'-Кме') точкам, изменение положения угла (go-x — по вертикали и go-y — по сагиттали) и головки нижней челюсти по вертикали (co-x) и в сагиттальной (co-y) плоскости).

ЛИТЕРАТУРА

1. Климов А.Г. Особенности диагностики зубочелюстных аномалий с различными типами лицевого отдела головы / А.Г. Климов, М.Н. Пузырева, М.Г. Рожкова, С.Б. Фищев и др. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. — 2023. — №12. — С. 153–158.
2. Климов А.Г. Особенности инклинации и ангуляции передних зубов у пациентов с физиологической окклюзией при различных вариантах формы зубных дуг / А.Г. Климов, М.Г. Рожкова М.Г., С.Г. Павлова, А.В. Севастьянов и др. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. — 2024. — № 3/2. — С. 166–172.
3. Пузырева М.Н., Субботин Р.С., Фищев С.Б., Фомин И.В., Кондратюк А.А., Орлова И.В. Дифференциальная диагностика патологических и физиологических видов резцового перекрытия / М.Н. Пузырева, Р.С. Субботин, С.Б. Фищев, И.В. Фомин и др. // Педиатр. — 2019. — Т. 10. — № 4. — С. 39–44.
4. Севастьянов А.В. Влияние расположения боковых зубов при различных вариантах формы зубных дуг на пропись брекетов / А.В. Севастьянов, А.Г. Климов, М.Г. Рожкова, С.Г. Павлова, А.А. Шторина и др. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. — 2024. — № 3/2. — С. 143–147.
5. Фищев С.Б. Оценка результатов исследования размеров зубов у людей с нормодонтными долихогнатическими зубными дугами / С.Б. Фищев, А.Г. Климов, А.В. Севастьянов и др. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. — 2023. — № 2-2. — С. 226–230.
6. Шишко Т.В. Особенности угловых параметров зубов при различных трузионных типах зубных дуг / Т.В. Шишко, М.Н. Пузырева, М.Г. Рожкова, С.Б. Фищев и др. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. — 2023. — № 12. — С. 213–218.
7. Dmitrienko S.V., Domenyuk D.A., Kochkonyan A.S., Karslieva A.G., Dmitrienko D.S. Modern classification of dental arches // Archiv EuroMedica. — 2014. — Т. 4. — № 2. — С. 14–16.
8. Dmitrienko S.V., Fomin I.V., Domenyuk D.A., Kondratyuk A.A., Subbotin R.S. Enhancement of research method for spatial location of temporomandibular elements and maxillary and mandibular medial incisors //Archiv EuroMedica. — 2019. — Т. 9. — № 1. — P. 38–44.
9. Fischev S.B., Puzdryyova M.N., Dmitrienko S.V., Domenyuk D.A., Kondratyuk A.A. Morphological features of dentofacial area in peoples with dental arch issues combined with occlusion anomalies // Archiv EuroMedica. — 2019. — Т. 9. — № 1. — P. 162–163.
10. Puzdryyova M.N., Fischev S.B., Dmitrienko S.V., Domenyuk D.A., Kondratyuk A.A. Morphological features of dentofacial area in people with dental arch issues combined with occlusion anomalies // Archiv euromedica. — 2019. — vol. 9, Num. 1. — P.162–163.
11. Shen L. He F., Zhang C. Prevalence of malocclusion in primary dentition in mainland China, 1988–2017: a systematic review and meta-analysis // Sci. Rep. — 2018. — Vol. 8. — № 1. — P. 4716.
12. Singh S., Sharma A., Sandhu N. Prevalence of malocclusion and orthodontic treatment needs in school going children of Nalagarh, Himachal Pradesh, India // J. Dent. Res. — 2016. — Vol. 27. — № 3. — P. 317–322.

© Фищев Сергей Борисович (super.kant@yandex.ru); Севастьянов Аркадий Владимирович (ardy.dkr@mail.ru);
 Климов Андрей Геннадьевич (pstom4@zdrav.spb.ru); Рожкова Мария Геннадьевна (rozmaria2010@yandex.ru);
 Павлова Светлана Георгиевна (svetap_75@mail.ru); Кондратюк Андрей Александрович (kondratyuk.andrey@icloud.com);
 Шторина Анастасия Александровна (nastiya78@mail.ru); Пузырева Маргарита Николаевна (seven-spb@yandex.ru)
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ АУГМЕНТАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ АЛЬВЕОЛЯРНОГО ОТРОСТКА (ЧАСТИ) ЧЕЛЮСТИ С ПОМОЩЬЮ КСЕНОПЛАСТИЧЕСКИХ И АУТОПЛАСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF BONE GRAFTING OF THE ALVEOLAR PROCESS (PART) OF THE JAW WITH XENOPLASTIC AND AUTOPLASTIC MATERIALS

**Yu. Tsvetkov
S. Bessonov
A. Tsvetkov
S. Galstyan
E. Timofeev
N. Rumyantsev**

Summary. Introduction. Augmentation of the jaw bone is one of the main tasks of orthopedic treatment of a dental patient. This is due to the fact that after tooth extraction, structural and metabolic changes take place in the bone tissue, which cause the reduction of the ridge in the vertical and horizontal directions. Periodontal diseases, injury of the alveolar process and other significant factors can also affect the process of excessive bone resorption. *Goal.* To perform an X-ray analysis of the size of the bone tissue of the alveolar process 6 months after augmentation. *Materials and methods.* The patients were divided into two groups: a group of patients who underwent augmentation with autosteal blocks (21 people) and a second group of patients who underwent bone augmentation of directed bone regeneration (NCR) using xenogenic bone materials (27 people). *Results.* After autoplasty, the minimum values of vertical dimensions were 9.2 mm, and the maximum values were 12.2 mm. On average, the vertical bone growth per group after autoplasty surgery was 0.83 mm. The values of vertical dimensions in patients operated by the NCR method were 9.1 mm, and the maximum values were 13.5 mm. On average, the vertical bone growth per group after the NCR operation was 0.69 mm. *Conclusions.* The data obtained indicate that there is no significantly significant difference in terms of vertical size increase in the two augmentation methods. The obtained data on the increase in the width of the alveolar process prove a significantly significant advantage of the autoplasty method over the NCR and an increase in the width of the alveolar ridge by an average of 0.83 mm more than the NCR method.

Keywords: implant, bone tissue, ridge reduction, autoplasty.

Цветков Юрий Андреевич
аспирант, «Ярославский государственный медицинский университет» Минздрава России
StomCvet@yandex.ru

Бессонов Сергей Николаевич
д.м.н., «Ярославский государственный медицинский университет» Минздрава России
smile12000@mail.ru

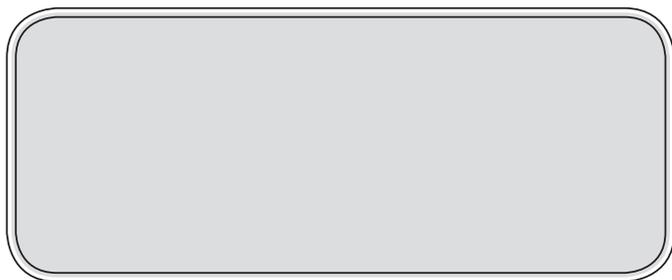
Цветков Андрей Васильевич
к.м.н., «Ярославский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ
samvir@list.ru

Галстян Самвел Галустович
к.м.н., «Санкт-Петербургский государственный педиатрический университет»
Министерства Российской Федерации
samvel.galstyan.2012@mail.ru

Тимофеев Евгений Владимирович
д.м.н., профессор, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России
darrieux@mail.ru

Румянцев Никита Вячеславович
ассистент, «Ярославский государственный медицинский университет» Минздрава России
Runv3110@icloud.com

Аннотация. Введение. Аугментация костной ткани челюсти является одной из главных задач ортопедического лечения стоматологического пациента. Это связано с тем, что после удаления зуба в костной ткани проходят структурные и метаболические изменения, которые вызывают редукцию гребня в вертикальном и горизонтальном направлениях. Влиять на процесс чрезмерной костной резорбции так же могут пародонтальные заболевания, травма альвеолярного отростка и другие значимые факторы. *Цель.* Провести рентгенологический анализ размеров костной ткани альвеолярного отростка через 6 месяцев после проведения аугментации. *Материалы и методы.* Пациенты были разделены на две группы: группа пациентов, которым проводилась аугментация аутокостными блоками (21 человек) и вторая группа пациентов, которым проводилась костная аугментация направленной костной регенерации (НКР) с использованием ксеногенных костных материалов (27 человек). *Результаты.* После операции аутопластики минимальные значения вертикальных размеров составили 9,2 мм, а максимальные значения 12,2 мм. В среднем на группу прирост костной ткани по вертикали после операции аутопластики составил 0,83 мм. Значения вертикальных размеров у пациентов, оперированных методом НКР составили 9,1 мм, а максимальные значения 13,5 мм. В среднем на группу прирост костной ткани по вертикали после операции НКР составил 0,69 мм.



Аугментация костной ткани челюсти является одной из главных задач ортопедического лечения стоматологического пациента. Это связано с тем, что после удаления зуба в костной ткани проходят структурные и метаболические изменения, которые вызывают редукцию гребня в вертикальном и горизонтальном направлениях. Влиять на процесс чрезмерной костной резорбции так же могут пародонтальные заболевания, травма альвеолярного отростка и другие значимые факторы. Наилучшим способом восстановления зубного ряда после удаления зуба, является дентальная имплантация [2, 8, 12]. Однако резорбция костной ткани зачастую не даёт возможности стоматологу-хирургу установить имплантат в выгодной ортопедической позиции даже при использовании укороченных имплантатов, хирургических навигационных шаблонов или имплантатов уменьшенного диаметра [13]. Следовательно, одним из способов восстановления утраченной костной ткани перед имплантацией, является аугментация альвеолярного отростка части челюсти (АОЧЧ). При выраженной атрофии костной ткани АОЧЧ установка имплантатов без хирургической подготовки практически невозможна [1, 10, 15].

«Золотым стандартом» аугментации АОЧЧ является применение аутопластики из донорских зон, однако многие авторы отдают предпочтение малоинвазивным техникам и отмечают успешность исхода хирургического лечения в минимизации операционного поля [2, 3, 9, 14]. В связи с тем, что прежде всего основной задачей костной аугментации является восстановление как можно наибольшего объёма костной ткани, то широко распространёнными являются методики комбинации направленной костной регенерации (далее — НРК) с помощью ксеногенных материалов и аутогенного материала, например, кривой линии передней поверхности ветви нижней челюсти. Данные методики отличаются между собой инвазивностью, и, по данным разных источников, способны давать различный результат прироста костной ткани [8]. Широко используются мембраны, пластины, гранулы для поддержания объёма, что при атрофии челюстей восстанавливает объём костной ткани и форму выраженной альвеолярного гребня. Известна методика оценки эффективности предимплантологической аугментации при использовании различных материалов аугментации костной ткани на верхней и нижней

Выводы. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии достоверно значимой разницы в отношении показателей прироста вертикальных размеров у двух методов аугментации.

Полученные данные прироста ширины альвеолярного отростка доказывают достоверно значимое преимущество метода аутопластики, перед НРК и увеличении ширины альвеолярного гребня в среднем на 0,83 мм больше по сравнению с методом НРК.

Ключевые слова: имплантат, костная ткань, редукция гребня, аутопластика.

челюсти, которая заключается в расчете коэффициента аугментации [2]. Несмотря на то, что восстановительные процессы идут на 30–60-е сутки путем формирования в зоне аугментации новообразованной грубоволокнистой соединительной ткани, включающей костные балки и перегородки, большое количество остеобластов, структуры по типу остеонов и гаверсовых каналов [5], основным методом оценки эффективности аугментации остается прирост ширины и высоты АОЧЧ через 6 месяцев.

Наиболее точным и информативным методом оценки костной ткани альвеолярного отростка является конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) [4, 6, 16]. Данное исследование является также первичными методом оценки костного регенерата при отсроченной дентальной имплантации, показавший высокую диагностическую информативность в оценке результатов костной пластики [7, 10]. Точное трехмерное изображение челюстно-лицевой области способно определить особенности строения альвеолярного отростка верхней челюсти и альвеолярной части нижней челюсти, позволяет выявить особенности анатомических структур, верхнечелюстной пазухи, нижнечелюстного канала, определить расположение нижнечелюстного канала, выявить топографию проблемной зоны и параметры атрофированной альвеолярной кости, провести измерение плотности костной ткани. Оценка данных КЛКТ должна проводиться в дооперационный период с целью определения точной топографии дефекта: его расположение, параметры и форма. Также необходимо определить донорский участок забора костной ткани, в случае аутопластики объем и качество костной ткани.

Имеется большое количество исследований, касающихся методик наращивания костной ткани, однако нет единого мнения об алгоритме выбора той или иной в конкретной клинической ситуации, в связи с огромным разнообразием клинических случаев и их индивидуальностью, опытом врача в проведении конкретных методик, реакций организма. В последние годы, благодаря множеству проведенных отдалённых исследований, преимущественной целью аугментации костной ткани является увеличение её ширины перед высотой. В связи с наблюдениями в том, что большее количество отдалённых осложнений связаны с недостаточным диаметром имплантата и шириной отростка, нежели с их вы-

сотой и длиной. Также большинство клинических случаев имеют достаточный по высоте костный гребень, для установки стандартной длины имплантата (8-9 мм.), но недостаточный по ширине для оптимального диаметра (4-5 мм.) [11]. Третьей причиной можно назвать ухудшение условий для трофики и интеграции трансплантата при попытке выполнить вертикальную аугментацию по сравнению с горизонтальной [5,8]

Цель исследования

Провести рентгенологический анализ размеров костной ткани альвеолярного отростка через 6 месяцев после проведения аугментации.

Задачи исследования

1. Измерить по данным КЛКТ ширину и высоту альвеолярного гребня до и после аугментации, в пределах аналогичного по топографии среза.
2. Сравнить результаты использования при проведении костной пластики аутогенной костной ткани и ксеногенного материала, с помощью полученных рентгенологических данных.

Материалы и методы

КЛКТ была выполнена в центре Picasso рентгеновской лучевой диагностики (Ярославль). Результаты изображения КЛКТ записывались на CD-диск вместе с программой для просмотра. Помимо классификации Misch и Judt (1985-1987), костная ткань оценивалась по её качественным показателям, по классификации, которая была представлена Lekholm и Zarb в 1985 г. По данным КЛКТ проводили оценку всей зубочелюстной системы

для предполагаемой костной пластики и дентальной имплантации, а именно нами изучено: тип дефекта (форма, глубина, высота, ширина, состояние верхнечелюстных пазух, расположение нижнечелюстного канала).

Пациенты были разделены на две группы: группа пациентов, которым проводилась аугментация аутокостными блоками (21 человек) и вторая группа пациентов, которым проводилась костная аугментация направленной костной регенерации (НКР) с использованием ксеногенных костных материалов (27 человек).

Первую группу составили пациенты с умеренной и выраженной атрофией костной ткани челюсти. До операции аутопластики минимальные значения высоты альвеолярного отростка (части) составили 8,3 мм, а максимальные 11,2 мм. В среднем на группу аутопластики значения исходные значения высоты альвеолярного отростка по вертикали до операции составили 9,6 мм. Минимальные значения ширины альвеолярного отростка (части) челюсти составили 2,7 мм, а максимальные 4,6 мм. Пациентам данной группы проводилась операция аутопластики под местным обезболиванием путем внесения в зону костного дефекта трансплантата с переднего края ветви нижней челюсти в зону костного дефекта, с фиксацией микровинтами (Рис. 1).

Во вторую группу вошли пациенты со слабой и умеренной атрофией костной ткани челюсти. До операции НКР минимальные значения по вертикали составили 9,1 мм, а максимальные 13,5 мм. В среднем на группу исходные значения по вертикали составили 10,55 мм. До операции НКР минимальные значения по ширине составили 3,3 мм, а максимальные 4,8 мм. Данной группе пациентов была проведена костная пластика с помощью

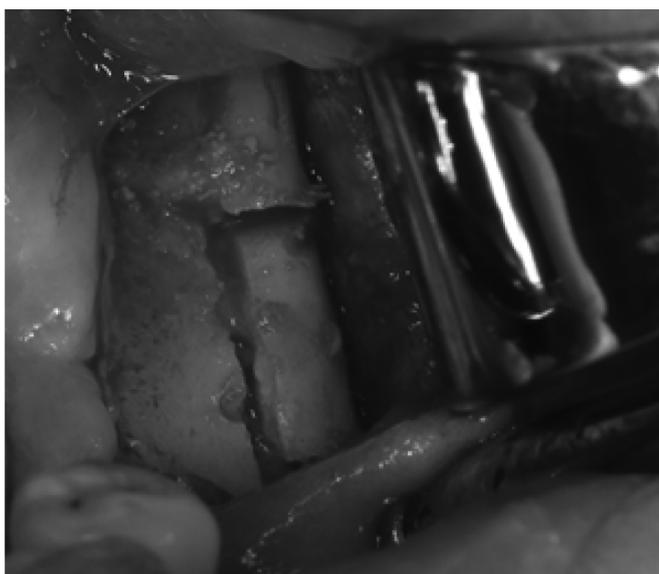


Рис. 1. Этапы операции аутопластики у пациентов 1 группы. Расположение аутопластического материала в костном ложе (слева) и фиксация аутопластического материала пинами (справа)



Рис. 2. Этапы операции аутопластики у пациентов 2 группы. Расположение аутопластического материала в костном ложе (слева) и фиксация аутопластического материала пинами (справа)

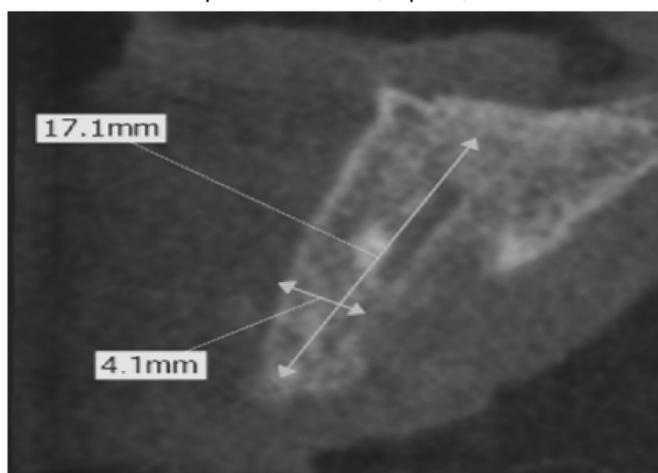
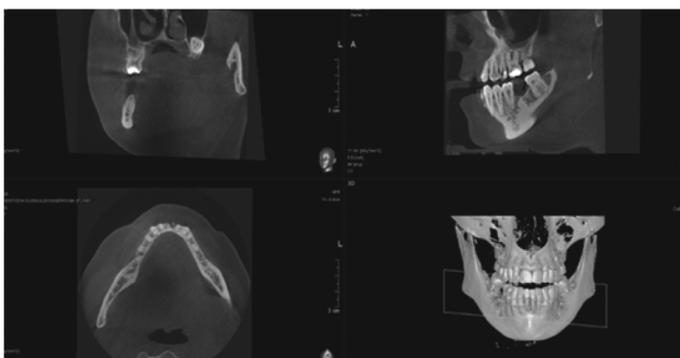


Рис. 3. Постпроцессорная обработка КЛКТ. Определение исходных параметров ширины и высоты альвеолярного отростка челюсти

метода НКР. Операция проводилась под местным обезболиванием путем внесения в зону костного дефекта ксенопластического материала смешанной с тромбоцитарной массой (FRP) из крови пациента. Далее дефект перекрывался коллагеновой резорбируемой мембраной с фиксацией ударными пинами (Рис. 2).

Через 6 месяцев после костной реконструкции, перед проведением дентальной имплантации оценивалась результативность операции аугментации по показателям прироста ширины и высоты на основании оценки изображений КЛКТ. С помощью имеющихся инструментов в программе для просмотра ez3d2009, было проведено измерение ширины и высоты альвеолярного гребня на аналогичном срезе как до операции, так и после. Все данные заносились в таблицу и сохранялись в виде фотографии (см. рис. 3).

Для обработки статических данных использовался параметрический t-критерий Стьюдента. Наглядность

демонстрировали с помощью графиков типа box plot. Статистический анализ проводился с использованием программы IBM SPSS Statistics на уровне значимости коэффициента 0,05.

Результаты и обсуждение

После операции аутопластики минимальные значения вертикальных размеров составили 9,2 мм, а максимальные значения 12,2 мм. В среднем на группу прирост костной ткани по вертикали после операции аутопластики составил 0,83 мм. Значения вертикальных размеров у пациентов, оперированных методом НКР составили 9,1 мм, а максимальные значения 13,5 мм. В среднем на группу прирост костной ткани по вертикали после операции НКР составил 0,69 мм.

Одними из причин невысокого прироста костной ткани по высоте являются достаточная изначальная высота

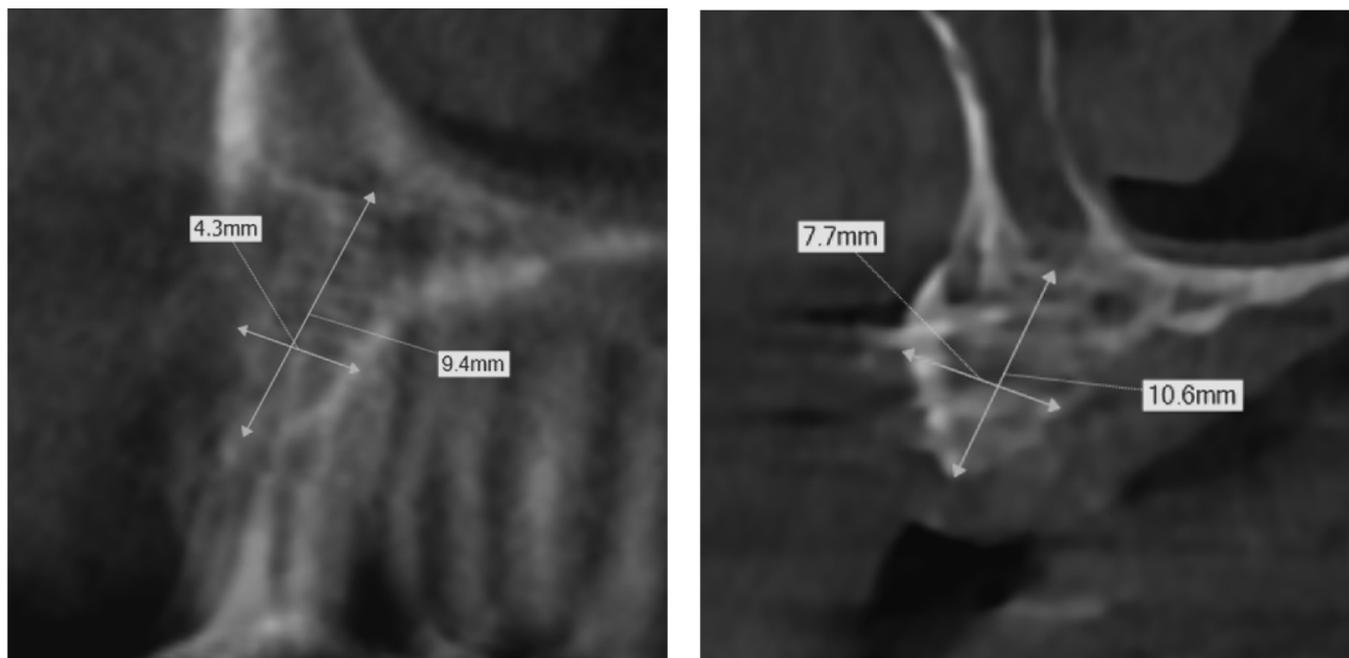


Рис. 4. Постпроцессорная обработка измерение высоты и ширины альвеолярного отростка до операции аугментации (слева) и через 6 мес. после операции аугментации (справа)

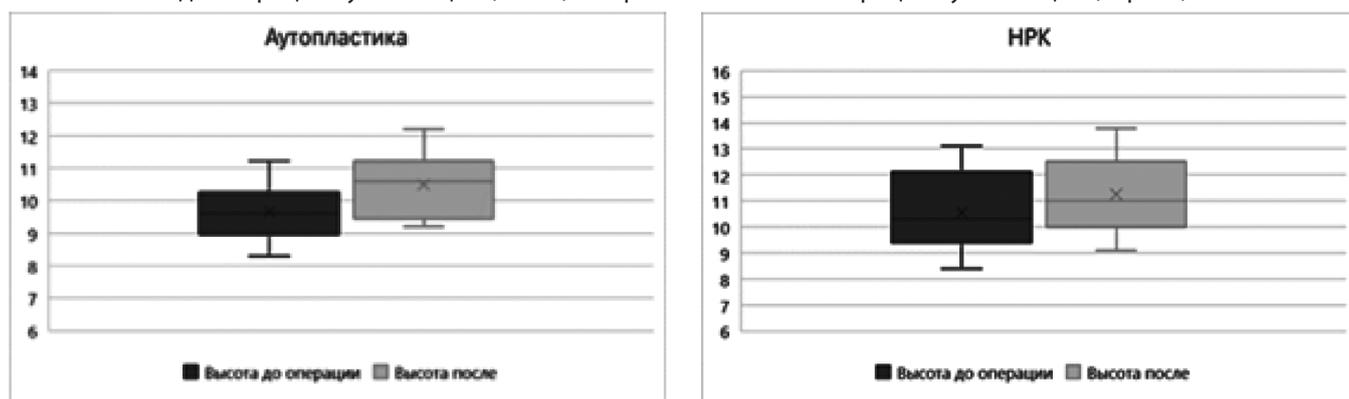


Рис. 5. Распределение изменения показателя высоты: метод аутопластика (слева), метод НРК (справа)

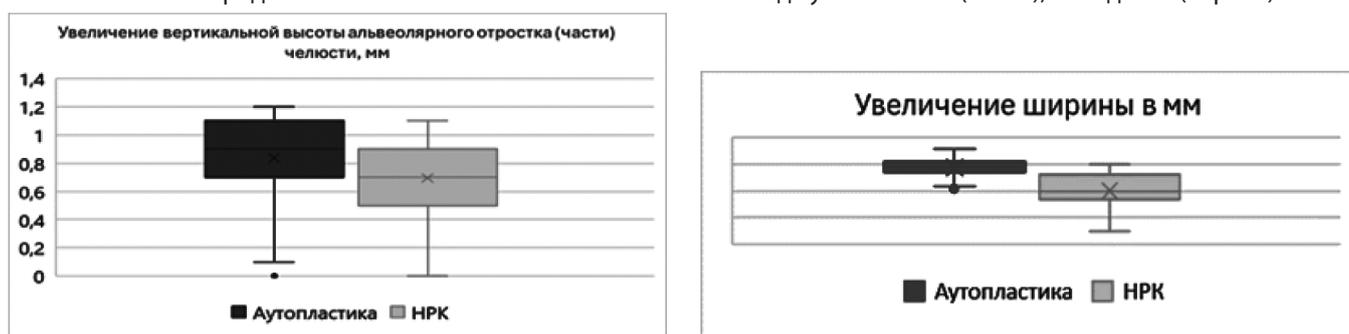


Рис. 6. Диаграмма увеличение вертикальной высоты (слева) и ширины (справа) АОЧЧ в зависимости от метода операции

костного гребня, для установки имплантатов стандартной длины, необходимость редукции вершины альвеолярного гребня (что приводило к уменьшению высоты в некоторых клинических случаях), для правильного позиционирования оси имплантата (Рис. 5).

Что касается изменения параметров ширины, после операции аутопластики минимальные значения горизонтальных размеров составили 5,7 мм, а максимальные значения 7,1 мм, прирост ширины составлял 2,88 мм в среднем на группу, в то время как прирост горизон-

тальных размеров АОЧЧ после операции НРК составил 2,04 мм в среднем на группу (рис. 6).

Таблица 1.

Динамика данных прироста ширины и высоты АОЧЧ до и после операции у пациентов обеих групп

Метод	Ауто-пластика	НРК	р
Высота АОЧЧ до операции, мм	9,65±0,87	10,56±1,39	0,009
Увеличение вертикальной высоты, мм	0,84±0,32	0,70±0,27	0,036
Высота АОЧЧ через 6 мес. после операции, мм	10,49±0,97	11,25±1,48	0,036
Ширина АОЧЧ до операции, мм	3,67±0,61	4,07±0,41	0,013
Увеличение ширины, мм	2,88±0,38	2,01±0,65	0,001

Метод	Ауто-пластика	НРК	р
Ширина АОЧЧ после операции, мм	6,54±0,41	6,11±0,62	0,007

Выводы

1. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии достоверно значимой разницы в отношении показателей прироста вертикальных размеров у двух методов аугментации.
2. Полученные данные прироста ширины альвеолярного отростка доказывают достоверно значимое преимущество метода аутопластики, перед НРК и увеличении ширины альвеолярного гребня в среднем на 0,83 мм больше по сравнению с методом НРК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойко Е.М. Экспериментально-клиническое обоснование применения резорбируемой коллагеновой мембраны при направленной костной регенерации: дисс... канд. мед. наук. — Ставрополь, 2019. — 164 с.
2. Бондаренко О.В. Комплексная оценка дентальной имплантации в области аугментации после травматичного удаления зубов: автореф. дисс. канд. мед. наук. — Москва, 2010. — 23 с.
3. Галстян С.Г. Оптимизация методов ортодонтического лечения пациентов с дефицитом места в зубном ряду: дисс... канд. мед. наук. Волгоград, 2020. — 123 с.
4. Галстян С.Г., Тимофеев Е.В. Аномалии прикуса: современные подходы к диагностике и лечению. *Juvenis Scientia*. 2021;7(1):5–16.
5. Герасименко О.В. Экспериментально-клиническое обоснование метода устранения постэкстракционных дефектов челюстей инъекционным поднадкостничным введением остеопластических материалов: дисс... канд. мед. наук. Симферополь, 2018. — 134 с.
6. Гурин А.Н. Новый вид остеопластических материалов на основе октакальцийфосфата и биорезорбируемых мембран на основе альгината: разработка, экспериментальное обоснование, клиническое внедрение: дисс... докт. мед. наук. Москва, 2021. — 267 с.
7. Дьякова М.В., Беспалова Н.А., Ключков А.С., Дурново Е.А. Сохранение костного и мягкотканого компонентов альвеолярного гребня при немедленной имплантации в эстетической зоне челюстей в условиях дефицита костной ткани. *Современные медицинские технологии*. 2020;12(1):57–64. DOI 10.17691/stm2020.12.1.07. — EDN IQGHFK.
8. Знаменская Ю.П. Применение препарата на основе гиалуроновой кислоты при аугментации лунок удаленных зубов перед дентальной имплантацией: дисс... канд. мед. наук. Москва, 2021. — 155 с.
9. Ибрагимов И.М. Оценка структурных изменений тканей верхнечелюстного синуса при субантральной аугментации: клинико-экспериментальное исследование: автореф. дисс... канд. мед. наук. Краснодар, 2012. — 23 с.
10. Каламкаргов А.Э. Исследование динамики атрофии костной ткани при ортопедическом лечении пациентов с полной потерей зубов с использованием дентальных внутрикостных имплантатов. *Российский стоматологический журнал*. 2015;19(6):10–12.
11. Михалев П.Н. Экспериментально-клиническое обоснование выбора остеопластических материалов при различных методах аугментации альвеолярных отростков челюстей: автореф. дисс... канд. мед. наук. Казань, 2012. — 19 с.
12. Москвин Г.В. Эффективность использования трансплантатов гребня подвздошной кости при атрофии альвеолярного отростка и альвеолярной части челюстей: дисс... канд. мед. наук. Санкт-Петербург, 2020. — 181 с.
13. Погосян Н.М., Новожилова М.С., Габов Р.С., Рыжова И.П. Разработка малоинвазивного способа подготовки костной ткани перед имплантацией с использованием биологического потенциала собственного организма. *Научные ведомости. Серия: Медицина. Фармация*. 2019;42(4): 470–477. DOI 10.18413/2075-4728-2019-42-4-470-477
14. Попов Н.В. Дентальная имплантация с цифровой технологией реконструкции альвеолярной кости в комплексном лечении пациентов с дефектами зубных рядов при атрофии челюстей: дисс... докт. мед. наук. Самара, 2018. — 296 с.
15. Размыслов А.В. Оптимизация хирургической тактики при замещении костных дефектов и увеличении размеров атрофированных альвеолярного отростка верхней челюсти и альвеолярной части нижней челюсти: автореф. дисс... канд. мед. наук. Москва, 2011. — 26 с.
16. Рыбальченко Д.С. Клинико-морфологическое и функциональное обоснование возможности проведения субантральной аугментации у пациентов с хроническим одонтогенным верхнечелюстным синуситом: дисс... канд. мед. наук. Санкт-Петербург, 2021. — 170 с.

© Цветков Юрий Андреевич (StomCvet@yandex.ru); Бессонов Сергей Николаевич (smile12000@mail.ru);

Цветков Андрей Васильевич (samvir@list.ru); Галстян Самвел Галустович (samvel.galstyan.2012@mail.ru);

Тимофеев Евгений Владимирович (darrieux@mail.ru); Румянцев Никита Вячеславович (Runv3110@icloud.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

Наши авторы

Ataeva Z. — PhD, Associate Professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Avedova D. — postgraduate student, FSBEI of HE «Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky»

Bakhtiyarova G. — St. Petersburg State Budgetary Healthcare Institution City Polyclinic No. 3, St. Petersburg

Belova E. — postgraduate student, St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I

Besklubnaya A. — Candidate of Pedagogical Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering»

Bespalov A. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Kazan (Volga Region) Federal University

Bessonov S. — MD, Yaroslavl State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Bocharova M. — Postgraduate student, N.N. Burdenko Voronezh State Medical University

Bondar' E. — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering»

Budaichiev G. — MD, PhD, Assistant, Dagestan State Medical University of the Russian Ministry of Health, Makhachkala

Chasovskikh V. — Doctor of Technical Sciences, professor, FGBOU VO Ural State Economic University

Chekotilo E. — candidate of technical sciences, associate professor, Samara state technical university

Chernyaev M. — PhD, X-ray surgeon, Assistant Professor, Department of Hospital Surgery with a course of Pediatric Surgery RUDN University, Moscow, Russia

Chochaev A. — Doctor of Economics Sc., professor, State Scientific Center «Soil Institute named after V.V. Dokuchaev»

Ezilyaeva M. — Assistant, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Filatova O. — Assistant, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation

Our authors

Fischev S. — MD, Professor, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Gadzhieva T. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Galstyan S. — Candidate of Medical Sciences, St. Petersburg State Pediatric University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Glukhov A. — Director of Information and Telecommunication Systems Programs JSC «Scientific and Production Association «Critical Information Systems»

Glukhov A. — Doctor of Technical Sciences, St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I

Grigoryan L. — PhD, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev»

Guseinova R. — PhD, Associate Professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Ilyunina O. — Candidate of Medical Sciences, FSBEI of HE «Penza State University»

Kallaeva A. — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Khairova E. — graduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev»

Khoroshko M. — PhD in Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, South-Russian State Polytechnical University (NPI) named after M.I. Platov, Novocherkassk

Kichigina O. — candidate of technical sciences, associate professor, Saint Petersburg state marine technical university

Klimov A. — PhD, associate Professor «Saint Petersburg state pediatric medical University» of the Ministry of health of the Russian Federation

Koch E. — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, FGBOU VO Ural State Economic University

Kolesnikov A. — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Komarov R. — Doctor of Medical Sciences, Professor, FGAOU VO I.M. Sechenov First Moscow State Medical University Ministry of Health of Russia (Sechenov University)

Kondratyuk A. — PhD, Assistant, St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Kornienko S. — Candidate of Technical Sciences, St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I

Kornienko S. — Saint Petersburg state marine technical university

Korotkikh I. — MD, PhD, Professor, N.N. Burdenko Voronezh State Medical University

Kozlov D. — Phd, Cardiovascular Surgeon GBUZ Moscow Multidisciplinary Clinical Center «Kommunarka», Moscow

Kudaev M. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Kumakhov A. — Assistant, FSBEI HE «NOSMA» Vladikavkaz

Kurovsky S. — Head of the Research Department LLC «Higher School of Education»

Kuznetsova A. — Eye clinic «Tochka zreniya»

Lenkovets M. — FGAOU VO I.M. Sechenov First Moscow State Medical University. Ministry of Health of Russia (Sechenov University)

Makarichev G. — Bauman Moscow state technical university

Mishin D. — Head of the Editorial and Publishing Department LLC «Higher School of Education»

Mokhorev D. — Postgraduate student, Plekhanov Russian University of Economics

Muratov I. — Lead Engineer, JSC Zaslou, St. Petersburg

Nabgouri Yunes — St. Petersburg State Budgetary Healthcare Institution City Polyclinic No. 3, St. Petersburg

Nioradze N. — Assistant, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation

Nuyakshin M. — Postgraduate, Dubna State University

Osipova Yu. — Doctor of Medical Sciences, FSBEI of HE «Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky»

Osmanova A. — PhD, Associate Professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Pavlova S. — PhD, Associate Professor, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Ponomarenko A. — Colonel of the reserve, Candidate of Military Sciences, Academy of Civil Protection named after Lieutenant General D.I. Mikhaylik

Puzdyreva M. — PhD, Assistant, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Roshchin E. — Candidate of Medical Sciences, Chief Physician, orthopedic dentist, orthodontist, Sdi Dent Clinic

Rozhkova M. — Assistant, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Rozyyeva M. — RUDN University, Moscow, Russia

Rumyantsev N. — Assistant, Yaroslavl State Medical University of the Ministry health Russia Federation

Rusakov A. — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev»

Rykov S. — X-ray surgeon of the Department of Endovascular Methods of Diagnosis and Treatment at the Yudin Cancer Center No. 1

Ryzhkova E. — assistant, Siberian State University of Geosystems and Technologies

Salikhova M. — MD, PhD, Associate Professor, Dagestan State Medical University of the Russian Ministry of Health, Makhachkala

Sergeev Yu. — Colonel, Academy of Civil Protection named after Lieutenant General D.I. Mikhaylik

Sevastyanov A. — MD, Professor, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Shtorina A. — PhD, Associate Professor, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Shtykov R. — Candidate of Technical Sciences, Murom Institute (branch) Vladimir State University

Skorikov I. — Postgraduate Student, Department of Information Systems and Technologies Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, South-Russian State Polytechnical University (NPI) named after M.I. Platov, Novocherkassk

Smotrish E. — Candidate of medical sciences, Eye clinic «Tochka zreniya»

Sofronitskaya K. — Assistant, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation

Strizhkov V. — Postgraduate student, Federal State Educational Budgetary Institution of Higher Education «Financial University under the Government of the Russian Federation» (Moscow)

Tarasov V. — Postgraduate student, RTU MIREA, Moscow

Timofeev E. — Doctor of Medical Sciences, Professor, St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Titov D. — Ph.D., associate professor, Siberian State University of Geosystems and Technologies

Tolgurov T. — Doctor of Philology, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

Tsvetkov A. — Candidate of Medical Sciences, Yaroslavl State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Tsvetkov Yu. — postgraduate student, «Yaroslavl State Medical University» of the Ministry of Health of Russia Federation

Yurchak V. — postgraduate student, Russian New University (RosNOU)

Zagorulko A. — Head of the Department of Endovascular Methods of Diagnosis and Treatment at the Yudin Cancer Center No. 1, PhD, Department of Cardiology, X-ray endovascular and hybrid methods of diagnostics and treatment of RUDN University

Zhukova N. — Professor, FSBEI HE «SibSMU»

Ziulkina L. — Doctor of Medical Sciences, FSBEI of HE «Penza State University»

Zubarev K. — Senior lecturer, Bauman Moscow state technical 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 оста вляет 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).