

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 12-2 2022 (ДЕКАБРЬ)

Учредитель журнала  
Общество с ограниченной ответственностью  
**«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»**

Журнал издается с 2011 года.

### Редакция:

Главный редактор  
**А.В. Царегородцев**  
Выпускающий редактор  
**Ю.Б. Миндлин**

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](mailto:redaktor@nauteh.ru)  
<http://www.nauteh-journal.ru>

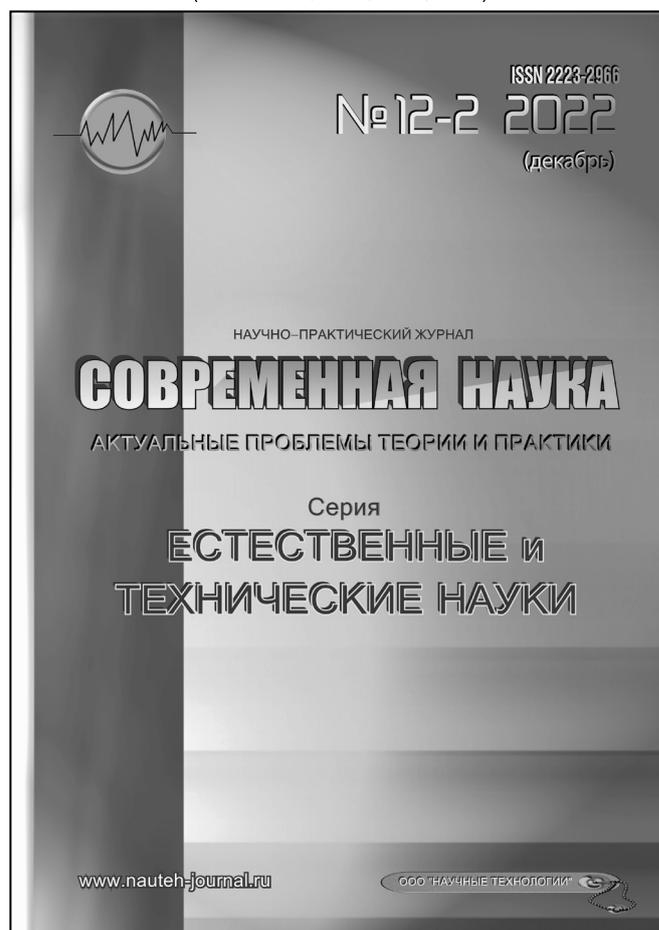
Журнал зарегистрирован Федеральной службой  
по надзору в сфере массовых коммуникаций,  
связи и охраны культурного наследия.

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

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(BAK – 1.2.2, 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 28.12.2022 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. Серикбаева

**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., с.н.с., Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

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

**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

# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## Общая биология

**Айдинян Л.Г., Айрапетян В.Т., Яицкий А.С.** —  
Экология размножения чёрного дрозда (*Turdus merula* Linnaeus, 1758) в Нагорном Карабахе  
*Aydinyan L., Ayrapetyan V., Yaitsky A.* —  
Reproduction ecology of the blackbirds  
(*Turdus merula* Linnaeus, 1758)  
in the Nagorno-Karabakh region ..... 7

**Бахшалиева К.Ф., Арабова Г.Г.** — Видовой состав  
микобиоты некоторых плодовых растений,  
распространенных в Азербайджане  
*Bakshaliyeva K., Arabova G.* — Species  
composition of mycobiota of some fruit  
plants spread in Azerbaijan ..... 13

**Васильченко Н.Г.** — Поиск генов  
нерибосомальных пептидсинтетаз в культурах  
почвенных бацилл – как способ прогноза  
биофунгицидности штаммов  
*Vasilchenko N.* — Search for nonribosomal  
peptidesynthetase genes in cultures  
of soil bacilli – as a way to predict  
the biofungicidal activity of strains ..... 17

**Кулясова О.А., Игловиков А.В.** — Хозяйственно-  
ценные растения травяного покрова березовых  
колков в северной лесостепи Тюменской области  
*Kulyasova O., Iglonikov A.* — Economically valuable  
plants of the grass cover of birch pegs  
in the northern forest-steppe of the Tyumen region .... 23

**Курбатов С.А., Зубкова В.М., Гапоненко А.В.** —  
Миграция и биоконцентрирование тяжелых  
металлов в системе «вода – донные отложения –  
растения» Клязьминского водохранилища  
*Kurbatov S., Zubkova V., Gaponenko A.* —  
Migration and bioconcentration of heavy metals  
in the «water – bottom sediments – plants» system  
of the Klyazma reservoir ..... 29

**Павлов С.И., Яицкий А.С., Минияров Ф.Т.** —  
Зависимость сроков генерации  
жуков-листоедов от сезонной цикличности  
фенологических процессов Самарской области  
*Pavlov S., Yaitsky A., Miniyarov F.* —  
The dependence of leaf beetles generation  
time on the seasonal cyclicity of phenological  
processes in the Samara Region ..... 37

**Сластя И.В.** — Влияние соединений кремния  
на показатели кустистости  
и донорно-акцепторные отношения  
в растениях ярового ячменя при выращивании  
в разных условиях влагообеспеченности  
*Slastya I.V.* — The effect of silicon compounds  
on tillering and donor-acceptor relations  
in spring barley plants growing under  
different moisture conditions ..... 41

**Сытник Н.А.** — о влиянии некоторых  
экологических факторов на интенсивность  
дыхания плоской устрицы (*Ostrea edulis* L.)  
*Sytник N.* — The influence of some environmental  
factors on the respiratory rate of the flat oyster  
(*Ostrea edulis* L.) ..... 48

## Информатика, вычислительная техника и управление

**Абрамчик Д.Д., Гаипов К.Э., Крикунов И.Л.,  
Шпигер Н.В.** — Определение оптимального  
распределения трафика в межспутниковых  
каналах связи контурным методом по критерию  
минимума пропускной способности  
*Abramchik D., Gaipov K., Krikunov I., Shpiger N.* —  
Determination of the optimal distribution of traffic  
in intersatellite communication channels  
by the contour method according to the criterion  
of minimum bandwidth ..... 55

**Бурьгин В.М.** — Мониторинг  
безопасности облачных сервисов  
*Burygin V.* — Monitoring  
the security of cloud services. .... 62

<b>Гаипов К.Э., Крикунов И.Л., Демичева А.А.</b> — Модель многокритериальной оптимизации распределения информационных потоков в телекоммуникационных сетях <i>Gaipov K., Krikunov I., Demicheva A.</i> — A model of multi-criteria optimization of the distribution of information flows in telecommunication networks . . . . .67	<b>Поленок М.В., Бондаренко С.В., Зеленский О.С., Юркова О.Н.</b> — Разработка информационной системы «Техкооперация 2.0» <i>Polenok M., Bondarenko S., Zelenskiy O., Yurkova O.</i> — Development of the information system "Technical cooperation 2.0" . . . . .125
<b>Ганин П.Е., Кобрин А.И.</b> — Построение адаптивной нечеткой нейронной сети для решения обратной задачи кинематики многозвенных механизмов <i>Ganin P., Kobrin A.</i> — Constructing an adaptive fuzzy neural network for solving the inverse kinematics problem of the of multilink mechanisms . . . . .75	<b>Приходько Д.И.</b> — Оценка использования внутренних возможностей совместимого мультirazрядного микропроцессора AMD64 для противодействия ионизирующему излучению <i>Prikhodko D.</i> — Evaluate the use of the internal capabilities of a compatible AMD64 multi-bit microprocessor to counter ionizing radiation . . . . .137
<b>Кондратьев К.А.</b> — Организация механизма управления операционными процессами энергетического комплекса РФ <i>Kondratev K.</i> — Development of a mechanism for managing the operational processes of the energy industry of the Russian Federation . . . . .83	<b>Приходько Д.И.</b> — Анализ компьютерных числовых типов данных в мультirazрядных вычислительных системах применительно к операции понижения разрядности вычислений <i>Prikhodko D.</i> — Analysis of computer numeric data types in multi-bit computer systems in relation to operation of computation reduction. . . . .145
<b>Крутов Т.Ю., Афанасьев Г.И., Афанасьев А.Г.</b> — Сиамские нейросети для задачи распознавания лиц <i>Krutov T., Afanasyev G., Afanasyev A.</i> — Siamese neural networks for the task of face recognition . . . . .88	<b>Родионцев Н.Н.</b> — Основные принципы и закономерности цифровой экономики в системе высшего образования <i>Rodiontsev N.</i> — Main principles and patterns of the digital economy in the system of higher education . . . . .152
<b>Ляхманов Д.А., Капранов С.Н., Васильев Р.А.</b> — Децентрализованный алгоритм построения транспортной колонны <i>Lyakhmanov D., Kapranov S., Vasiliev R.</i> — Decentralized algorithm for building a transport column . . . . .93	<b>Смирнов С.П.</b> — Верификации требований, полученных в результате оценки видов и последствий отказов изделий (DFMEA), с использованием русскоязычных лексических индикаторов <i>Smirnov S.</i> — Verification of requirements, provided as a result of the DFMEA assessment, using russian-language lexical indicators . . . . .157
<b>Мельников Д.В., Петровичев М.А.</b> — Реализация сигналов управления трехфазного инвертора в реальном масштабе времени с помощью унифицированной ШИМ <i>Melnikov D., Petrovichev M.</i> — Implementation of control signals of a three-phase inverter in real time using a unified PWM . . . . .103	<b>Старцев С.Я.</b> — Достаточные условия неэквивалентности гиперболических уравнений в терминах компьютерной алгебры <i>Startsev S.</i> — Sufficient conditions for non-equivalence of hyperbolic equations in terms of computer algebra . . . . .164
<b>Орехов С.Ю., Скадин А.В., Сахаров В.В., Глебов С.А., Просвернин А.А.</b> — Кинематическое исследование механизма относительного манипулирования <i>Orekhov S., Skadin A., Sakharov V., Glebov S., Prosvernin A.</i> — Kinematic research of the joint relative manipulation mechanism . . . . .113	

- Тауснев Д.А., Гаиров К.Э.** — Решение задачи параметрического синтеза структуры сети связи методом дифференциальной эволюции  
*Tausnev D., Gaïrov K.* — Solving the problem of parametric synthesis of the structure of the communication network by the method of differential evolution.....168
- Тихонов М.Р., Тихонов Р.Р.** — Анализ применения показателей устойчивости при разработке экспертной системы обнаружения предвестников отказа  
*Tikhonov M., Tikhonov R.* — Analysis of application of stability indicators in the development of an expert system for detecting failure precursors .....174
- Фальков Г.А., Попов С.А., Маньшин И.М., Горлов А.С.** — Имитационное моделирование исследования показателей качества электроэнергетики в сети  
*Falkov G., Popov S., Manshin I., Gorlov A.* — Simulation modeling of the study of electricity quality indicators in the network.....178
- Фэн Кэцзя, Афанасьев Г.И., Нестеров Ю.Г.** — Применение искусственного интеллекта в прогнозировании усталого поведения водителей при вождении автотранспортными средствами  
*K. Fen, Afanasyev G., Nesterov Yu.* — Application of artificial intelligence in prediction of tired behavior of drivers when driving by vehicles.....190
- Шитов Е.А., Раков Д.А., Терещенко И.А., Коврова Е.С., Воронин Т.В.** — Разработки центра компетенций НТИ по технологиям хранения и анализа больших данных на базе МГУ имени М.В. Ломоносова в области технологий обработки естественного языка  
*Shitov E., Rakov D., Tereshenko I., Kovrova E., Voronin T.* — Developments of the big data storage and analysis center on the basis of the Lomonosov Moscow state university in the field of natural language processing technologies .....196
- Клиническая медицина**
- Абдукадыров А., Курбанов Ф.Р., Абдукадыров Д.А., Мухамедова Ф.Ш.** — Частота и причины осложнений остеотомии ветвей нижней челюсти у пациентов с нижней макрогнатией и методы их устранения  
*Abdukadyrov A., Kurbanov F., Abdukadyrov D., Mukhamedova F.* — Frequency and causes of complications of osteotomy of the lower jaw in patients with lower macrognathia and methods for their elimination .....203
- Азовскова О.В., Федосов Е.А., Киреева О.К.** — Анализ этиологической структуры летальных пневмоний при новой коронавирусной инфекции Covid 19 за период 2020–2022 гг. в г. Смоленске  
*Azovskova O., Fedosov Ev., Kireeva O.* — Analysis of the etiological structure of lethal pneumonia in the new coronavirus infection Covid 19 for the period 2020–2022. in Smolensk .....209
- Аксенова С.В., Кумакишева Т.Н., Хозина Е.А., Васильева О.А., Малышева В.С.** — Структура инфекционных осложнений проникающих ранений глазного яблока  
*Aksenova S., Kumakshcheva T., Khozina E., Vasilyeva O., Malysheva V.* — Structure of penetrating eye injury infectious complications .....218
- Ахмедов А.Э., Гарунов З.О., Хизриев М.Д., Магадова Г.М.** — Эффективность статинотерапии для пациентов с высоким сердечно-сосудистым риском. Применение статинов в клинической практике: сопутствующие заболевания и осложнения  
*Akhmedov A., Garunov Z., Khizriev M., Magadova G.* — The effectiveness of statin therapy for patients with high cardiovascular risk. The use of statins in clinical practice: concomitant diseases and complications.....222
- Барковец К.Н., Ефимин А.В.** — Особенности биомеханики твёрдых тканей зубов при замещении дефектов зубов металлокерамическими реставрациями  
*Barkovets K., Efimin A.* — Features of the biomechanics of hard tissues of teeth when replacing tooth defects with metal-ceramic restorations.....226

<i>Будайчиев Г.М.-А., Меджидова Н.М., Мащилиева М.М., Будайчиева П.М., Мамедов Ф.С.</i> — Эндодонтическое лечение моляра нижней челюсти с пятью корневыми каналами. клинический случай <i>Budaichiev G., Medzhidova N., Maschilieva M., Budaichieva P., Mamedov F.</i> — Endodontic treatment of the mandibular molar with five root canals. clinical case.....230	<i>Пенжоян Г.А., Казанчи Ф.Б., Андреева М.Д.</i> — Возможности прогнозирования преэклампсии <i>Penzhoyan G., Kazanchi F., Andreeva M.</i> — Prediction possibilities for pre-eclampsia .....245
<i>Журбенко В.А., Маринкина А.А.</i> — Встречаемость различных форм заболеваний пародонта у беременных <i>Zhurbenko V., Marinkina A.</i> — The occurrence of various forms of periodontal diseases in pregnant women .....233	<i>Петрова Т.В., Бородулина И.И.</i> — Иммунологический статус военнослужащих с абсцедирующим фурункулом челюстно-лицевой области <i>Petrova T., Borodulina I.</i> — Immunological status of military personnel with absceding fuunclus of the maxillofacial region .....249
<i>Ломова И.П.</i> — Роль внеклеточных везикул в нарушении гемостаза и в развитии атеротромбоза при сердечно-сосудистых заболеваниях (обзор литературы) <i>Lomova I.</i> — Role of extracellular vesicles in hemostasis disturbance and in the development of atherotrombosis in cardiovascular diseases (literature review) .....236	<b>Информация</b> Наши авторы. Our Authors .....254 Требования к оформлению рукописей и статей для публикации в журнале ....258

# ЭКОЛОГИЯ РАЗМНОЖЕНИЯ ЧЁРНОГО ДРОЗДА (TURDUS MERULA LINNAEUS, 1758) В НАГОРНОМ КАРАБАХЕ

## REPRODUCTION ECOLOGY OF THE BLACKBIRDS (TURDUS MERULA LINNAEUS, 1758) IN THE NAGORNO- KARABAKH REGION

L. Aydinyan  
V. Hayrapetyan  
A. Yaitsky

*Summary.* The article studies a breeding ecology of blackbirds (*Turdus merula* Linnaeus, 1758) in Nagorno-Karabakh region. During conducted observations it was found that blackbirds nesting activity begins in spring period, when the air temperature reaches +10...+15 °C. The birds have two stages of nesting: the first stage recorded in March–April–May, and the second one — in June–July. Nest usually contain 4 to 5, sometimes 6 eggs. According to conducted observations, breeding period lasts 120–122 days in foothill zone, and 102–106 days in the mountain zone. The first chicks were registered on April 11 to 15, but the dates may vary somewhat depending on the nesting place, which in author's opinion associated to climatic factors. Chicks are hatching from eggs in 2–3 days. Conducted studies found the presence of deviations in the morphological parameters of blackbird eggs, which in our opinion were caused by the abundance of food in given habitats and the climatic conditions of the area.

*Keywords:* blackbird, *Turdus merula* Linnaeus, 1758, birds, nest, morphological indicators of eggs, Nagorno-Karabakh, Stepanakert, Tumi, Artashavi, Magavuz, Berdashen, Berkadzor.

**Айдинян Лусине Гарниковна**  
Ассистент, Шушинский технологический  
университет  
luskarapetian@gmail.com

**Айрапетян Ваграм Торикович**  
Доктор биологических наук, профессор, Арцахский  
государственный университет  
vahram76@mail.ru

**Яицкий Андрей Степанович**  
Старший преподаватель, Самарский  
государственный социально-педагогический  
университет  
yaitsky@sgspu.ru

*Аннотация.* В статье обсуждается экология размножения чёрных дроздов (*Turdus merula* Linnaeus, 1758) в Нагорном Карабахе. В результате наблюдений установлено, что гнездовая активность чёрных дроздов начинается в весенний период, когда температура воздуха достигает +10...+15 °C. Эти птицы имеют 2 этапа гнездования: первый этап фиксируется в марте–апреле–мае, а второй — в июне–июле. В гнезде находятся 4–5, иногда 6 яиц. По нашим наблюдениям, в предгорной зоне период размножения длится 120–122, а в горной — 102–106 дней. Первые птенцы были зарегистрированы 11–15 апреля, но в зависимости от места проживания, дата может несколько варьироваться, что, на наш взгляд, связано с климатическими факторами. Птенцы вылупляются из яиц через 2–3 дня. В проведенных исследованиях нами установлено наличие отклонений в ооформологических показателях чёрного дрозда, что, на наш взгляд, связано с обилием корма в данных местообитаниях и климатическими условиями данной местности.

*Ключевые слова:* чёрный дрозд, *Turdus merula* Linnaeus, 1758, птицы, гнездо, ооформологические показатели, Нагорный Карабах, Степанакерт, Туми, Арташави, Магавуз, Бердашен, Беркадзор.

### Введение

**Н**агорный Карабах богат биоразнообразием, в котором привлекает внимание разнообразие и численность птиц. Птицы считаются одним из важнейших звеньев экологической системы пищевой цепи. Сегодня в экологически тревожном Нагорном Карабахе охрана животного мира является одной из актуальных проблем [1; 2; 3, с. 12–16]. Разнообразие

видов, многочисленность, сложная система консорции птиц определяет их важную роль в лесных биоценозах и в жизни человека.

Цель, объект  
и предмет исследования

Целью работы является изучение экологии и особенностей размножения *Turdus merula* Linnaeus, 1758

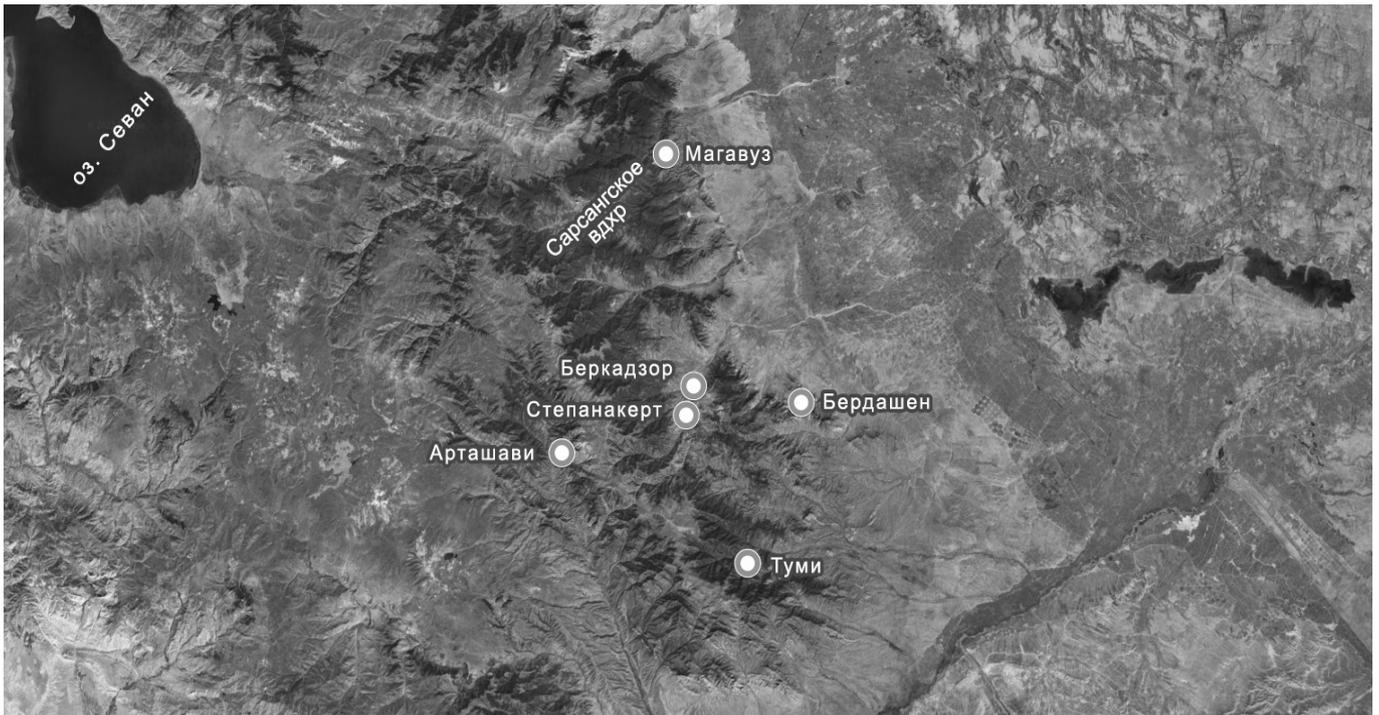


Рис. 1. Карта расположения стационаров

в Нагорном Карабахе, что позволит в будущем разработать механизмы защиты этих полезных птиц.

*Объектом* исследования являются чёрные дрозды, *предметом* — особенности размножения *Turdus merula* Linnaeus, 1758 в Нагорном Карабахе.

#### Материалы и методика исследований

Для исследования мы выбрали стационары в с. Туми, в с. Арташави (с 2018 г. по август 2020 г.), в с. Магавуз, в с. Бердашен, в с. Беркадзор и в г. Степанакерт (рис. 1). Наблюдения на стационарах велись ежегодно весной и летом в период размножения. Весенние наблюдения начинались обычно в первой декаде марта, иногда, из-за погодных условий, позже. Июньские исследования начинались в начале месяца и завершались во второй декаде. Наблюдения проводились регулярно, через каждые 10 дней. Подсчёт гнёзд чёрных дроздов осуществляли с помощью методов топографии гнездовых территорий [4; 5, с. 43–48]. Для полевых исследований и наблюдений использовали классические методы [6, с. 1–15; 7, с. 66–75; 8, с. 130–136; 9, с. 77–93]. Статистические разработки осуществляли принятыми в биологии классическими методами [10]. В процессе наблюдений для поиска мест гнездования и определения высоты над уровнем моря мы использовали электронavigационный прибор GPSMAP 62stc.

#### Результаты исследований и их обсуждение

Чёрные дрозды в фауне Нагорного Карабаха считаются одним из широко распространенных видов, хотя, исходя из данных наблюдений, фиксируются количественные изменения. Как принято во многих государствах, динамическое равновесие обсуждаемой особи сохраняется соотношением размножения и количественного упадка.

Чёрные дрозды активны в течение всего светового дня во все времена года. Обитают в широколиственных и смешанных лесах, где есть подлесок. Чёрные дрозды предпочитают влажные участки леса, часто обитают на берегах рек, ручьев, водохранилищ, на урбанизированных территориях, встречаются в парках, на бульварах, в агроландшафтах, на кладбищах [11; 12, с. 118–123].

Размножение чёрных дроздов начинается со второй декады марта, но возможны некоторые отклонения [13, с. 202–203; 14, с. 713–721; 15, с. 49–58].

В результате наблюдений, проведенных в сёлах Магавуз (700–750 м над ур. м.), Беркадзор (650–700 м над ур. м.), в г. Степанакерте (750–1100 м над ур. м.), мы выяснили, что во время теплой и бесснежной зимы с первой декады марта начинается выбор места обитания, в про-

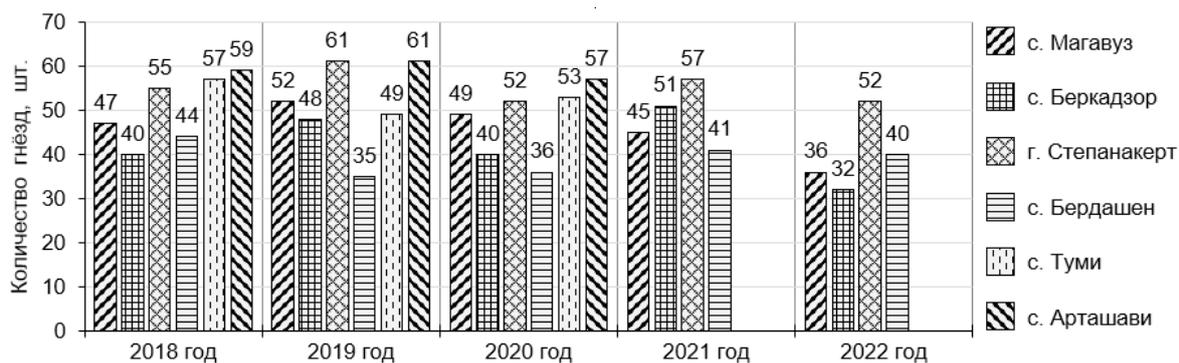


Рис. 2. Количество гнёзд, констатированных в стационарах в течение 2018–2022 гг.

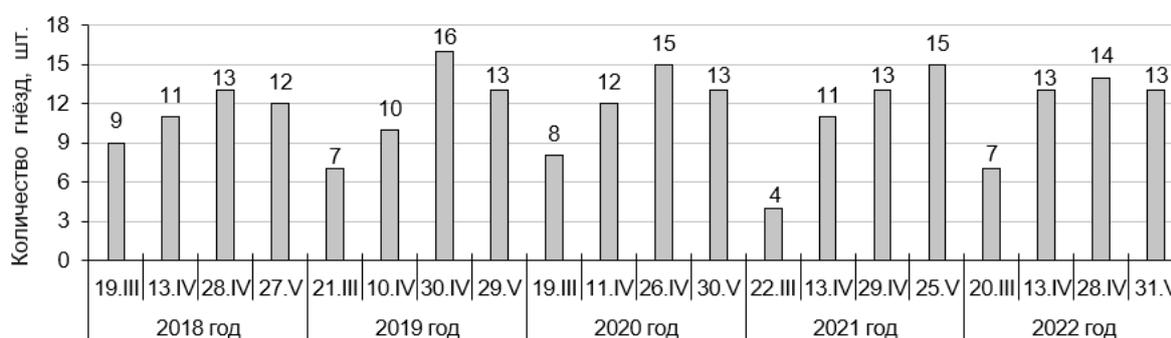


Рис. 3. Сроки кладки яиц и количество гнёзд в с. Магавуз

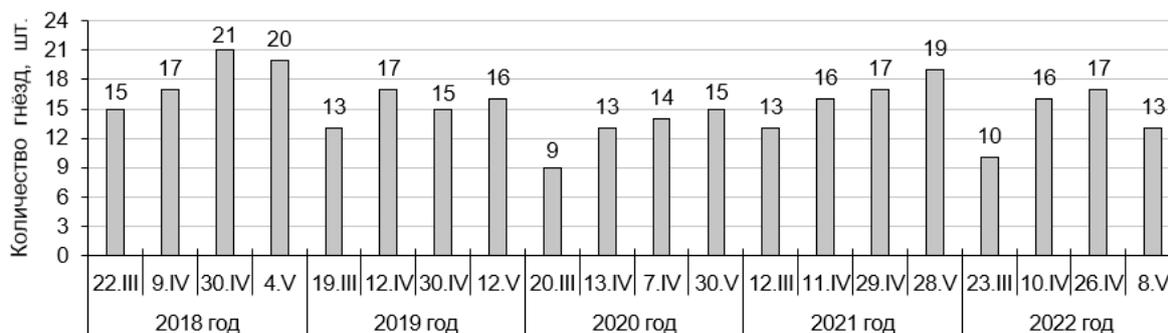


Рис. 4. Сроки кладки яиц и количество гнёзд в с. Беркадзор и г. Степанакерт

тивном случае — со второй декады марта. В с. Туми (750–850 м над ур. м.) начало гнездования — вторая декада марта, как и в с. Бердашен (750–850 м над ур. м.). По наблюдениям, проведенным в течение нескольких лет в с. Арташави (950–1300 м над ур. м.), чёрные дрозды начинают выбор мест гнездования в конце мая. В результате исследований, проведенных в описываемый промежуток времени, мы выявили в с. Магавуз — 229 гнёзд, в с. Беркадзор — 211, в с. Бердашен — 196, в с. Арташави — 177, в с. Туми — 159, в г. Степанакерте — 277 (рис. 2).

Весенняя активность выбора мест гнездования у чёрных дроздов обычно начинается при температуре +10...+15 °С. В указанных условиях как в лесистых местностях, так и на полянах, в парках и садах наблюдаются их полеты с активным щебетом, и слышна трель самца, обозначающего свою территорию. Чёрные дрозды проявляют экологическую гибкость и в выборе места обитания, и при постройке гнезда. Эти птицы отличаются тем, что являются эвритопами с неустойчивым поведением во время постройки гнезда, смелостью, спо-

Таблица 1. Морфологические данные исследований яиц чёрных дроздов на различных участках

	n	Min-max	M	δ	m	Cv,%
<b>с. Магавуз</b>						
Длина, мм	226	28,2–33,6	31,4	0,80	0,05	2,5
Диаметр, мм		19,0–23,0	21,6	0,62	0,04	2,9
Масса, г		6,0–8,2	7,3	0,25	0,02	3,4
<b>г. Степанакерт</b>						
Длина, мм	37	30,1–33,7	32,1	1,10	0,18	3,4
Диаметр, мм		19,8–22,5	21,5	0,82	0,13	3,8
Масса, г		6,8–7,7	7,2	0,23	0,04	3,2
<b>с. Туми</b>						
Длина, мм	118	28,4–33,7	31,8	1,27	0,12	3,9
Диаметр, мм		18,1–23,7	21,2	1,18	0,11	5,6
Масса, г		6,5–7,5	7,2	1,25	0,11	17,4

*Примечание.* *n* — количество гнёзд, *Min* — минимальное значение, *Max* — максимальное значение, *M* — среднее арифметическое, *δ* — среднее квадратичное отклонение, *m* — ошибка среднего арифметического, *Cv* — коэффициент вариации.

способностью выбирать новые способы кормодобывания [16, с. 568–570; 17], что преимущественно проявляется в антропогенных ландшафтах.

В с. Магавуз из наблюдаемых нами 229 гнёзд появление первого яйца фиксировали с 19 марта (*n* = 35) по 13 апреля (*n* = 57). Второй этап кладки яиц начинается с 26 апреля (*n* = 71) по 31 мая (*n* = 66) (рис. 3).

В с. Беркадзор и г. Степанакерте в период 2018–2022 гг. в наблюдаемых 486 гнёздах — яйца констатировали только в 306, а 180 гнёзд были пусты или находились в труднодоступных местах (*n* = 82). Беркадзор является пригородом г. Степанакерта, поэтому результаты наблюдений представлены одной общей диаграммой (рис. 4). При проведенных наблюдениях первое яйцо в гнезде констатировали 12 марта 2021 г., а остальные — не раньше 19 марта (рис. 4).

В результате исследований, проведенных в с. Бердашен с 2018 г. по 2022 г., выявлено, что первое яйцо откладывается не позже 28 марта, а в с. Туми и с. Арташави — не позже первой декады апреля. В перечисленных сёлах вторая стадия кладки яиц начинается со второй декады мая. Яйца откладывают 1 раз в течение 2–3 дней. В гнезде находятся от 4 до 5 яиц, редко 6 [18, с. 230–240].

Фенология размножения чёрных дроздов обычно соответствует появлению пищевых ресурсов, что особенно важно для кормления птиц. По данным, полученным нами, можно сделать вывод, что в предгорных зонах сроки размножения длятся 120–122, а в горных зонах — 102–106 дней.

Птенцы вылупляются из яиц в период первой декады апреля (первое высиживание яиц) до первой декады июня (второе высиживание). Так, исходя из наблюдений в с. Магавуз, первых птенцов, недавно вылупившихся из яйца, констатировали с 11 по 15 апреля, процесс продолжался до 8–10 мая. В г. Степанакерт и с. Беркадзор первые птенцы в гнёздах появляются в начале апреля (04.04.2018 г.; 02.04.2019 г.; 07.04.2021 г.). В с. Туми и с. Арташави первые птенцы в гнёздах появляются позже: так, в 2018 г. первых птенцов констатировали 21 и 26 апреля, в 2020 г. — 25 и 28 апреля, а в с. Бердашен — 15–17 апреля.

Второй этап вылупления птенцов в с. Туми и с. Арташави начинается с 20 или 25 мая, а в других стационарах приблизительно недель позже. По наблюдениям разных лет, срок вылупления птенцов из яиц — 2–3 дня [19, с. 47–48].

Как видно из табл. 1, по ооморфологическим признакам есть значительные отклонения.

В разных гнёздах, при сравнении исследований морфометрических параметров, заметны отклонения [20, с. 240–255]: так в стационаре с. Магавуз длина яйца (*n* = 226) 28,2–33,6 мм (в среднем — 31,4 мм), диаметр — 19–23 мм (в среднем — 21,6 мм), масса — 6–8,2 г (в среднем — 7,3 г); яйца самой крупной массы (8,2 г, *n* = 5) констатировали только в этом селе. В стационаре г. Степанакерт длина яйца (*n* = 37) колеблется в пределах 30,1–33,7 мм (в среднем — 32,1 мм), диаметр — 19,8–22,5 мм (в среднем — 21,5 мм), масса — 6,8–7,7 г (в среднем — 7,2 г). В с. Туми длина яйца (*n* = 118) составляла 28,4–33,7 мм (в среднем — 31,8 мм), диаметр —

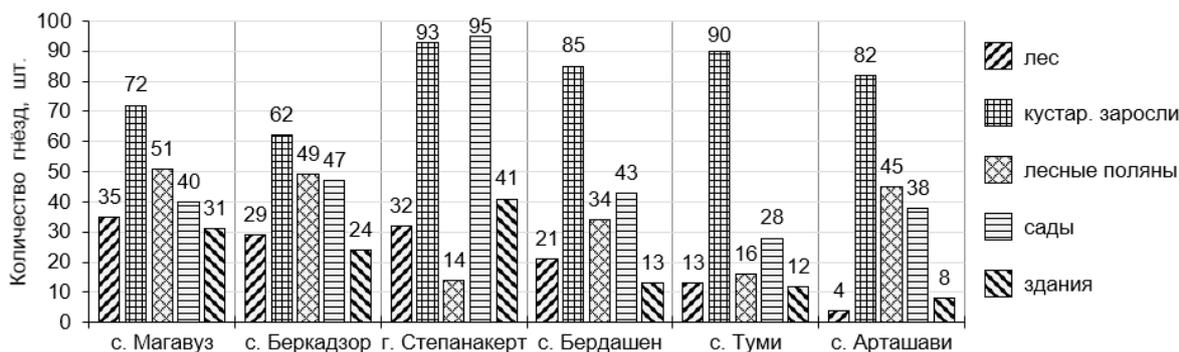


Рис. 5. Распределение гнёзд чёрных дроздов по стационарам

18,1–23,7 мм (в среднем — 21,2 мм), масса — 6,5–7,5 г (в среднем — 7,2 г).

Сроки вылупления птенцов из яиц чёрных дроздов задерживаются, что, по нашему мнению, связано с климатическими условиями, хотя причиной также может быть задержка стадии кладки яиц. Вообще, фенология размножения чёрных дроздов охватывает период с начала марта по конец июня. Вылупляющиеся птенцы весят 4,5–5,3 г ( $n = 45$ ), а длина их тела — 58,3–61,2 мм ( $n = 62$ ). В недельном возрасте они весят 24–25 г ( $n = 29$ ), длина тела достигает 126–136 мм ( $n = 38$ ). Покидают гнёзда на 14–15-м дне жизни, несмотря на то что нормально летать пока ещё не умеют.

В описываемых стационарах мы проводили наблюдения в лесах, кустарниковых зарослях, садах, строениях и на лесных полянах. Распределение гнёзд представлено на рис. 5.

В результате проведенных нами исследований выявлено, что небольшое количество гнёзд встречается в зданиях (за исключением урбанизированной среды г. Степанакерта) и в лесах. Наибольшее количество гнёзд мы обнаружили в кустарниковых зарослях, что составило 38,8% от общего, в садах (23,3%) и на лесных полянах (16,8%); в строениях обнаружено 10,4%, в лесах — 10,7%. В результате проведенного анализа

мы можем констатировать, что чёрные дрозды требовательны в выборе места обитания. Будучи типичными лесными птицами, глубоко в лесу или в густых лесных зарослях гнёзда не строят, т.е. они фотофилы. Гнезда предпочитают строить в тех местах, где имеется выход к открытым территориям и есть широкое поле для их обзора; особенно отдают предпочтение кустарниковым зарослям, садам и лесным полянам.

## ВЫВОДЫ

Исходя из результатов проведенных исследований, можно сделать вывод, что чёрные дрозды в условиях Нагорного Карабаха активны в светлое время суток в различное время года. Для обитания предпочитают влажные участки и в основном широколиственные деревья.

Период размножения у чёрных дроздов начинается с марта, но возможны отклонения, которые, по нашему мнению, обусловлены как климатическими условиями, так и высотной поясностью, хотя во всех случаях он совпадает с доступностью кормовых ресурсов. Отклонения присущи также по ооморфологическим показателям.

Для гнездования, в первую очередь, предпочитают заросли кустарника, сады, лесные поляны.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Adamyan M.S., Klem D. A field guide to birds of Armenia. Yerevan, 2000. 183 p.
2. Айрапетян В.Т., Минасян А. Дж., Чалян А.В., Микаелян Т.А., Аветисян М.В. Птицы Национального парка Качагакаберд. Шуши: Гагик Багрян, 2020. 123 с.
3. Айрапетян В.Т., Минасян А. Дж., Тамразян М.В. Экология и распространение кеклика (*Alectoris chukar* Gray, 1830) в предгорной зоне Мартакертского района // Биологические науки Казахстана. 2018. № 3. С. 12–16.
4. Бибби К., Джонс М., Марсен С. Методы полевых экспедиционных исследований. Исследования и учеты птиц / пер. с англ. М.: Союз охраны птиц России; 2000. 186 с
5. Вергелес Ю.И. Количественные учеты населения птиц: обзор современных методов // Беркут. 1994. Т. 3, вып. 1. С. 43–48.

6. Лапатов М.К. Учёт наземной фауны позвоночных методом маршрутного подсчета (метод площадей видов) // Труды Среднеазиатского гос. ун-та. Сер. VIII-а. Зоология. Вып. 11. Ташкент: Изд-во Среднеазиатского гос. ун-та, 1930. 15 с.
7. Равкин Ю.С. К методике учета птиц в лесных ландшафтах // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае (Северо-Восточная часть): сб. ст. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1967. С. 66–75.
8. Равкин Ю.С., Доброхотов Б.П. К методике учёта птиц лесных ландшафтов во внегнездовое время // Организация и методы учета птиц и вредных грызунов: сб. ст. М.: Наука, 1963. С. 130–136.
9. Шенброт Ю.Г. Экологическая ниша: методы изучения // Методы исследования в экологии и этологии: сб. науч. тр. Пущино: Науч. центр биол. исслед., 1986. С. 77–93.
10. Лакин Г.Ф. Биометрия. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
11. Лыков Е.Л. Фауна, население и экология гнездящихся птиц городов Центральной Европы (на примере Калининграда): дис. ... канд. биол. наук: 03.00.08. М., 2009. 286 с.
12. Тельпова В.В. Процессы синантропизации и урбанизации дроздов (Turdidae) в Центральном Предкавказье // Горные экосистемы и их компоненты: тр. междунар. конф. Нальчик, 4–9 сентября 2005 г. Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2005. С. 118–123.
13. Герасимчук А.В., Исмадова Л.И. Гнездовая экология дроздов рода *Turdus* при симбиотопии в лесостепных районах Средней Сибири // Экология, эволюция и систематика животных: мат-лы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Рязань: Голос губернии, 2009. С. 202–203.
14. Головань В.И. О расположении гнёзд дроздов (*Turdus merula*, *T. pilaris*, *T. iliacus*, *T. philomelos*) во вторичных лиственных лесах Себежского Поозерья // Русский орнитологический журнал. 2004. Т. 13, Экспресс-выпуск 268. С. 713–722.
15. Головань В.И. Сроки гнездования и величина кладок воробьиных птиц на юго-западе Псковской области // Птицы и млекопитающие Северо-Запада России: эколого-фаунистические исследования: сб. ст. / под ред. И.В. Ильинского. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2004. С. 49–58.
16. Шукшина М.С. Особенности гнездостроения дроздов в парках города Калининграда // Первые междунар. Беккеровские чтения: сб. мат-лов междунар. науч.-практ. конф. Т. 1. Волгоград, 27–29 мая 2010 г. Волгоград: ВГУ, 2010. С. 568–570.
17. Шубина Ю.Э. Сравнительная экология дроздов в антропогенных ландшафтах (Центральное Черноземье): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. М., 1999. 17 с.
18. Тельпова В.В. Величина кладки дроздов рода *Turdus* в Центральном Предкавказье // Кавказский орнитологический вестник. 2006. Т. 18. С. 230–240.
19. Гришанов Г.В. Особенности биологии гнездования чёрного дрозда (*Turdus merula*) в ландшафтах с различной степенью окультуривания на территории Калининградской области // X Прибалтийская орнитологическая конференция: тез. докл. В 2 т., т. 2. Экология и экологическая физиология птиц. Рига: Ин-т биологии, 1981. С. 47–48.
20. Тельпова В.В. Морфометрические показатели яиц дроздов рода *Turdus* в Центральном Предкавказье // Кавказский орнитологический вестник. 2006. Т. 18. С. 240–255.

---

© Айдинян Лусине Гарниковна ( luskarapetian@gmail.com ),  
Айрапетян Ваграм Торикович ( vahram76@mail.ru ), Яицкий Андрей Степанович ( yaitsky@sgspru.ru ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ВИДОВОЙ СОСТАВ МИКОБИОТЫ НЕКОТОРЫХ ПЛОДОВЫХ РАСТЕНИЙ, РАСПРОСТРАНЕННЫХ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

### SPECIES COMPOSITION OF MYCOBIOTA OF SOME FRUIT PLANTS SPREAD IN AZERBAIJAN

*K. Bakshaliyeva  
G. Arabova*

*Summary.* The mycobiota of fruit plants cultivated in the Absheron-Khizi and Guba-Khachmaz economic regions of the Republic of Azerbaijan was studied according to species composition. It became clear that 51 species of true fungi are involved in the formation of the mycobiota of trees and shrubs belonging to 15 taxa, and 56.9% of them belong to the Basidiomycota and 43.1% to the Ascomycota divisions. Recorded fungi are characterized by wide diversity due to their distribution on individual plants, as well as their ecotrophic relationships. Among of the fungi involved in the formation of mycobiota of studied plants meet fungi that cause diseases as spotting, rust, various color rot, wilting, curling of leaves, moniliosis, floury dew etc.

*Keywords:* Republic of Azerbaijan, fruit plants, mycobiota, phytopathogenic species.

**Бахшалиева Конуль Фаррух кызы**

*Д.б.н., доцент, Институт Микробиологии  
Министерства Науки и Образования Азербайджанской  
Республики  
konul.baxsh@mail.ru*

**Арабова Гюльтекин Гара кызы**

*Докторант, Институт Микробиологии  
Министерства Науки и Образования Азербайджанской  
Республики  
gulu.arabova@mail.ru*

*Аннотация.* В проведенных исследованиях изучен видовой состав мико-биоты плодовых растений, возделываемых в Апшерон-Хызынском и Гу-ба-Хачмазском экономических районах Азербайджанской Республики. Выявлено, что в формировании микобиоты деревьев и кустарников 15-ти таксонов участвует 51 вид истинных грибов, 56,9% из которых относятся к отделу Basidiomycota, а 43,1% — к отделу Ascomycota. Зарегистриро-ванные грибы характеризуются большим разнообразием распределения по отдельным растениям, а также экотрофических связей. Среди грибов, участвующих в формировании микобиоты изучаемых растений, присут-ствуют также грибы-возбудители болезней, вызывающие пятнистость, ржавчину, гниль различной окраски, увядание, скручивание листьев, мо-нилёз, мучнистую росу и др.

*Ключевые слова:* Азербайджанская Республика, плодовые растения, ми-кобиота, фитопатогенные виды.

**Г**еографическое положение Азербайджанской Рес-публики, природно-климатические условия обу-словили её богатую и красочную природу, что вы-зывает необходимость проведения на её территории различных, в том числе микологических исследований. На территории Азербайджана, включающей 9 из 12 известных типов климата, произрастает 4750 видов растений [10], часть которых составляют деревья и ку-старники. Среди них достаточное количество деревь-ев, имеющих важное хозяйственное значение, а также являющихся источником ряда плодов и продуктов в ра-ционе человека [7, 9]. Примерами деревьев и кустарни-ков могут служить яблоня восточная (*Malus orientalis* Uglitsk ex Juz), груша (*Pyrus communis* L.), вишня (*Prunus cerasifera* Ehrh.), миндаль (*Amygdalus communis* L.), фун-дук (*Corylus* L.), инжир (*Ficus carica* L.), вишня (*Prunus avium* L.), слива (*Prunus* L.), можжевельник (*Zizyphus* Mill.), тысячелистник (*Elaeagnus angustifolia* L.), грецкий орех (*Juglas regia* L.), гранат (*Punica granatum* L.), фи-сташка (*Pistacia vera* L.), персик (*Prunus persica* Batsch.), шелковица (*Morus alba* L. и *M.nigra* L.) и др. Ежегодно

с этих растений собирают тысячи тонн плодов [16], определенная часть потребляется сразу, а другая — по-сле процесса переработки. Однако, иногда по разным причинам урожай не соответствует ожидаемому или прогнозируемому количеству. Среди этих причин сле-дует отметить роль болезней перечисленных растений, возбудителями которых считаются грибы. Так, вслед-ствие вызываемых грибами болезней растения под-вергаются массовой гибели, значительно снижается их продуктивность, изменяется морфологический вид их плодов и наблюдаются другие нежелательные послед-ствия [12, 19].

В целях предотвращения заражения плодов, дости-жения повышения их урожайности, а также создания сортов, устойчивых к различным заболеваниям, важ-ное значение имеет изучение микобиоты растений, в первую очередь, видов, патогенность которых извест-на. Учитывая, что разрыв между источниками питания и темпами роста населения постоянно увеличивается в пользу последних, то и отношение людей к растени-

ям, считающихся одним из традиционных и надежных источников питания, должно коренным образом измениться. Если к этому добавить такие проблемы, как ухудшение экологической обстановки под влиянием антропогенного фактора и глобальное изменение климата, то не вызывает сомнения, что повышение эффективности использования растений, устранение факторов, негативно влияющих на их биологическую активность, в том числе на их продуктивность, является проблемой, отличающейся своей актуальностью.

Важность этого вопроса нашла отражение в микологических исследованиях различного аспекта, проводимых в Азербайджане до настоящего времени [1–2, 6, 13]. Прежде всего, следует отметить, что результаты, полученные в проведенных до настоящего времени исследованиях, нельзя признать достаточными для полной характеристики микобиоты флоры страны. Однако, хотя результаты ряда проведенных к настоящему времени исследований [7] позволяют сделать некоторые выводы об уровне изученности микобиоты растений, в том числе плодовых деревьев и кустарников, но ввиду расширения садоводства и пловозводства в Азербайджане и завоза новых сортов в страну в последнее время данный вопрос все еще остается открытым для исследований.

Поэтому, целью представленной работы явилось изучение видового состава микобиоты плодовых растений, культивируемых в Азербайджане, и удельного веса патогенных видов, участвующих в её формировании.

## Материалы и методы

Исследования проводились в Апшерон-Хызинском и Губа-Хачмазском экономических районах Азербайджанской Республики. Пробы отбирали согласно маршрутному методу [8] с надземных органов (вегетативных и генеративных) плодовых растений, на которых предполагалось присутствие грибов. Всего за 2020–2022 гг. исследований было отобрано около 100 образцов с культурных плодовых растений принадлежащих к 16 таксонам (*Amygdalus communis*, *Corylus L.*, *Malus orientalis*, *Morus alba*, *M. nigra*, *Pyrus communis*, *Ficus carica*, *Prunus L.*, *P. avium*, *P. cerasifera*, *P. persica*, *Elaeagnus angustifolia*, *Juglas regia*, *Punica granatum*, *Pistacia vera* и *Zizyphus L.*). Взятые образцы использовали для выделения и идентификации грибов в лабораторных условиях [3]. Для получения чистых культур грибов использовали стандартные питательные среды (сусло-агар, агар Сабуро, агаризованную среду Чапека и др.). Идентификация чистых культур проводилась с использованием определителей, составленных на основе культурально-морфологических и физиологических особенностей

грибов, а также признаков вызываемых ими заболеваний [4–5, 14, 17].

При систематизации грибов, а также уточнении их современных названий использовалась информация, представленная на официальном сайте Международной Микологической Ассоциации [15],

## Полученные результаты и их обсуждение

В результате анализа образцов, взятых с плодовых растений, культивируемых в Азербайджане, было идентифицировано 51 вид грибов, формирующихся в их микобиоте, среди которых более высоким показателем удельного веса характеризовались ксилотрофные макромикоты (табл. 1). Как видно, 56,9% всех зарегистрированных грибов относятся к отделу Basidiomycota, а 43,1% — к Ascomycota.

Грибы, относящиеся к отделу Basidiomycota, принадлежат к 2 классам — *Agaricomycetes* и *Pucciniomycetes*. Грибы, относящиеся к первому отделу (*Armillaria mellea*, *Bjerkandera adusta*, *Coniofora puteana*, *Fomes fomentarius*, *Fomitopsis annosa*, *F.cyticina*, *F.officinalis*, *F.pinicola*, *Ganoderma lipsinse*, *Inonotus hispidus*, *I.radiatus*, *Laetiporus sulphureus*, *Phellinus igniarius*, *Pleurotus ostreatus*, *Schizophyllum commune*, *Stereum hirsutum*, *Trametes gibbosa*, *T.hirsuta*, *T.pubescens*, *T.versicolor* и *Trichaptum biforme*) отличаются друг от друга как экотрофическими отношениями (истинные биотрофы, истинные сапротрофы и факультативные), окраской вызываемой ими в естественных условиях гнили (белая и бурая), так и строением гифальных систем (мономитическая, димитическая и тримитическая). Например, в экотрофическом отношении зарегистрированные в исследованиях и принадлежащих к классу *Agaricomycetes* виды грибов — *Fomes fomentarius*, *Armillaria mellea*, *Inonotus hispidus* являются истинными биотрофами, *Fomitopsis cyticina*, *F.pinicola*, *Ganoderma Lipsiense*, *Laetiporus sulphureus*, *Phellinus igniarius*, *Pleurotus ostreatus*, *Schizophyllum commune* и др. виды — факультативными, *Trametes versicolor*, *Trichaptum biforme* и др. виды — сапротрофами. В природных условиях 81% зарегистрированных грибов вызывают белую (*A.mellea*, *B.adusta*, *G.lipsiense*, *Ph.igniarius*, *P.ostreatus*, *Sch.commune*, *T.hirsuta* и др.), а 19% — бурую (*L.sulphureus*, *F.pinicola*, *I.hispidus* и др.) гнили.

Все 8 видов грибов класса *Pucciniomycetes* (*Gymnosporangium comutum*, *G. sabine*, *G. tremelloides*, *Puccinia amygdali-iridis*, *P. pruni*, *Tranzschelia discolor*, *Tranzschelia pruni-spinosae*, *Ustilago salviae*) с эколого-трофической точки зрения

Таблица 1. Количественная характеристика таксономической структуры грибов, участвующих в формировании микобиоты плодовых растений, культивируемых в Азербайджане

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род (вид)
Ascomycota	4	7	10	18(22)
Bazidiomycota	2	4	6	16(29)
Сәми	6	11	16	34(51)

относятся к истинным биотрофам и в основном вызывают ржавчину и головню плодовых растений-хозяев.

22 вида грибов, принадлежащих отделу Ascomycota, относятся к 5 классам, распределение которых по указанному таксону представлено ниже:

1. Dothideomycetes — 10 видов (*Ascochyta caricae*, *Asc.fagi*, *Alternaria alternata*, *A.dianthi*, *A.solani*, *Diplodia amygdali*, *Septoria amygdali*, *S.pistaciae*, *Stemphylium botryosum* və *St.ilicis*)
2. Eurotiomycetes — 2 вида (*Aspergillus niger*, *A.versicolor*, *Penicillium rubrum*)
3. Leotiomycetes — 8 видов (*Botrytis cinerea*, *Erysiphe amygdalis*, *E.communis*, *Monila pistaciae*, *Phyllactinia elaeagni*, *Ph.guttata*, *Podosphera oxyacanthae*, *Taphrina deformans*.)
4. Sordariomycetes — 2 вида (*Nectria cinnabarina*, *Trichothecium roseum*)

Некоторые из грибов, принадлежащих к отделу Ascomycota, являются анаморфами (*Ascochyta caricae*, *Asc.fagi*, *Alternaria alternata*, *A.dianthi*, *A.solani*, *Aspergillus niger*, *A.versicolor*, *Botrytis cinerea*, *Diplodia amygdali*, *Nectria cinnabarina*, *Penicillium rubrum*, *Phyllactinia elaeagni*, *Ph.guttata*, *Septoria amygdali*, *S.pistaciae*, *Stemphylium botryosum*, *St.ilicis*, *Trichothecium roseum*), а часть относится к телеоморфам (*Erysiphe amygdalis*, *E.communis*, *Monila pistaciae*, *Podosphera oxyacanthae*, *Taphrina deformans*). Практически все виды грибов, как анаморфы, так и телеморфы, вызывают различные патологии у исследованных плодовых растений. Некоторые из них являются настоящими биотрофами, а некоторые — факультативными, среди зарегистрированных сумчатых грибов не было обнаружено истинных сапротрофов. Наиболее распространенными заболеваниями, вызываемыми различными видами грибов, являются аскохитоз, альтернариоз, септориоз, филлактиноз и др., которые объединяются под общим названием — пятнистость. Распространенность этого заболевания в зависимости от растения и возбудителя колеблется от 5,5 до 26,7%. У изученных плодовых растений указанные грибы вызывают мучнистую росу, курчавость листьев, серую гниль и др., а степень распространения в общей сложности составляет 0,4–8,7%.

Что касается распределения зарегистрированных грибов по отдельным растениям, а именно участия их сочетаний в формировании микобиоты растений, то полученные результаты показали, что по сравнению с другими растениями слива обладает богатой, а иннабедной микобиотой. Так, из 51 вида зарегистрированных в исследовании грибов в формировании микобиоты сливы участвуют 37, а иннаба- 15 видов. Число видов грибов, участвующих в формировании микобиоты других плодовых растений, колеблется от 19 до 34.

Было бы уместно затронуть еще один вопрос, связанный с грибами, зарегистрированными в исследованиях. Так, патологии, вызываемые этими грибами у исследованных растений, в основном, носят универсальный характер, так как одноименные патологии, вызываемые ими, регистрируются у некоторых или у всех растений. Например, вызываемые грибами *A.alternata*, *A.solani*, *A.mellea*, *Botrytis cinerea*, *Erysiphe communis*, *F.fomentarius*, *Nectria cinnabarina*, *Taphrina deformans*, *Trichothecium roseum* и др. такие болезни как альтернариоз, белая гниль, серая гниль, мучнистая роса, курчавость листьев, розовая плесень и др. обнаружены у всех или у большинства исследованных плодовых растений. В целом следует отметить, что остальные грибы, кроме *E.amygdalis*, были обнаружены как минимум у двух исследованных растений. Это следует рассматривать как явление, оцениваемое с отрицательной стороны. Аналогичное мнение можно сказать и о составляющих большинство факультативных (без истинной сапротрофности и биотрофности) с экотрофной точки зрения грибах. Так, грибы, соответствующие этому признаку, обладают более высокой способностью к адаптации к окружающей среде, и по этой причине условия для их широкого распространения более благоприятны.

С другой стороны, результаты проведенных исследований подтвердили принадлежность к токсикогенам большинства зарегистрированных в исследованиях грибов [13], таких как *A.alternata*, *A.solani*, *Aspergillus niger*, *A.versicolor*, *Botrytis cinerea*, *Penicillium rubrum*, *Trichothecium roseum* и др., биотрофность или сапротрофность которых не несет истинного характера. Это дает возможность обогащать плоды населяемых ими растений, а также целевые продукты, предназначенные для употребления, микотоксинами

[18], образующимися в результате жизнедеятельности. В результате такого влияния грибов наблюдаются неприятные или нежелательные изменения биологической продуктивности растений как в количественном, так и в качественном отношении.

Все это, то есть широкий перечень субстратов возбудителей патологии, преобладание с экотрофической точки зрения факультативов, а также достаточный удельный вес среди них грибов, которые синтезируют вещества токсического действия, требует обновления и усовершенствования принципов микологической безопасности использования этих растений в соответствии с требованиями современности. В первую очередь, неотложной задачей следует считать подготовку и осуществление превентивных мер по предотвращению упомянутых выше негативных ситуаций.

Таким образом, в ходе проведенных исследований по изучению микобиоты плодовых растений, культивируемых в Азербайджанской Республике, было выявлено, что плодовые растения характеризуются как одно из мест обитания и проявления своей патологической деятельности различных таксономических групп грибов. Преобладание среди зарегистрированных возбудителей универсальных по отношению к субстратам и факультативных в экотрофическом отношении, отрицательно характеризующихся в фитопатологическом аспекте, позволяет отметить необходимость реализации профилактических мер борьбы, а также мероприятий, направленных на улучшение и обновление по количественным и качественным показателям нормативных документов, регламентирующих принципы микологической безопасности их использования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаева Ш.А., Махмудова С.И., Джабраилзаде С.М. и др. Видовой состав ксилотрофных грибов, обнаруженных на древесных растениях, используемых в озеленении городов Азербайджана. // Вестник МГОУ, серия "Естественные науки", 2014, № 1, с. 8–12
2. Бахшалиева К.Ф., Исмаилова Л.М. Мониторинг фитопатогенных микроорганизмов в семечковых плодовых деревьях в некоторых регионах Азербайджана. // Труды Центрального ботанического сада НАНА, 2014, с. 12, с. 86–88.
3. Билай В.И. Методы экспериментальной микологии. - Киев: Наукова думка, 1982, 500 с.
4. Бондарцева М.А. Определитель грибов России. Порядок афиллофоровые. СПб.: Наука, 1998, вып. 2, 391с.
5. Воробьева, М.В. Болезни древесных растений: учебное электронное пособие. — Екатеринбург: УГЛУ, 2022, 231с.
6. Гасымова М.И., Гаджиева Н.Ш., Байрамова Ф.В. Оценка видового состава микобиоты растений различного назначения, распространенных в западном регионе Азербайджана // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки, 2020. № 11, с. 17–20
7. Гулиев, Ф. А., Гурбанов М.М., Гусейнова Л.А. (2020). Зитиозная плодовая гниль гранатовых кустов в западной части Азербайджана // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии, 2020, № 4 (64), с. 19–30
8. Заводовский, П.Г. Основы экологической микологии и фитопатологии. Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2015, 59 с
9. Мехтиева Н.П. Биоразнообразие лекарственной флоры Азербайджана - Баку: "Letterpress", 2011, 186с.
10. Мамедов Т.С. Деревья и кустарники Апшерона. Баку: издательство «Наука и Образование», 2010, 468с.
11. Хохряков, М.К., Доброзракова, Т.Л., Степанов, К.М., Летова, М.Ф. Определитель болезней растений. СПб: Лань, 2003, 592с.
12. Archana, J., Surendra, S., Qin, W., Yuanfu, Lu & Jingshan, Sh. (2019) A review of plant leaf fungal diseases and its environment speciation // Bioengineered, 2019, v.10, N1, p.409–424,
13. Bakshaliyeva, K.F., Namazov, N.R., Jabrailzade, S.M. et al. Ecophysiological Features of Toxigenic Fungi Prevalent in Different Biotopes of Azerbaijan // Biointerface Research in Applied Chemistry, 2020, v.10, iss.6, p.6773–6782
14. Ellis M.B., Ellis J.P. Microfungi on land plants: an identification handbook. Slough: RP Richmond Publ., 1997. 869 p
15. <https://stat.gov.az/source/agriculture/> (дата обращения — 20.11.2022)
16. Kirk P.M. Dictionary of the fungi, 10th edn. CABI publishing / P.M. Kirk, P.F. Cannon, D.W. Minter., J.A. Stalpers. — Wallingford(UK), 2008, 600 p.
17. Perrone G, Ferrara M, Medina A, Pascale M, Magan N. Toxigenic Fungi and Mycotoxins in a Climate Change Scenario: Ecology, Genomics, Distribution, Prediction and Prevention of the Risk. // Microorganisms, 2020, 8(10), 1496. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101496>
18. Pétriacq P, López A, Luna E. Fruit Decay to Diseases: Can Induced Resistance and Priming Help? // Plants, 2018; 7(4):77. <https://doi.org/10.3390/plants7040077>

© Бахшалиева Коноль Фаррух кызы (konul.baxsh@mail.ru), Арабова Гюльтекин Гара кызы (gulu.arabova@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПОИСК ГЕНОВ НЕРИБОСОМАЛЬНЫХ ПЕПТИДСИНТЕТАЗ В КУЛЬТУРАХ ПОЧВЕННЫХ БАЦИЛЛ — КАК СПОСОБ ПРОГНОЗА БИОФУНГИЦИДНОСТИ ШТАММОВ

**Васильченко Никита Геннадьевич**

М.н.с., Академия биологии и биотехнологии им.  
Д.И. Ивановского, Южного федерального университета;  
с.н.с., Концерн «Покровский», г. Ростов-на-Дону  
nvasilchenko@sfedu.ru

## SEARCH FOR NONRIBOSOMAL PEPTIDESYNTHETASE GENES IN CULTURES OF SOIL BACILLI — AS A WAY TO PREDICT THE BIOFUNGICIDAL ACTIVITY OF STRAINS

**N. Vasilchenko**

*Summary.* The article provides the results on the study of the nonribosomal peptidases genes spectrum in aerobic spore-forming bacteria of the genera *Bacillus* and *Paenibacillus*. The gene spectrum of nonribosomal peptidases was analyzed in strains with different levels of antagonistic activity against *Fusarium* fungi, one of the main pathogens of cereal crops. The study revealed that strains with a higher level of antagonism had at least two genes of different operons of nonribosomal peptidases each, while strains without strong antagonistic properties had only one gene each. The data obtained can be used to develop a method for the rapid search for strains with biofungicidal activity.

*Keywords:* aerobic spore-forming bacteria, *Fusarium*, NRPS, biofungicides, antagonism.

*Аннотация.* В статье представлены результаты по изучению спектра генов нерибосомальных пептидсинтетаз у аэробных спорообразующих бактерий родов *Bacillus* и *Paenibacillus*. Спектр генов нерибосомальных пептидсинтетаз был проанализирован у штаммов с различным уровнем антагонистической активности в отношении грибов рода *Fusarium* — одного из основных патогенов злаковых культур. В ходе проведенного исследования выявлено, что у штаммов с более высоким уровнем антагонизма было выявлено минимум по два гена различных оперонов нерибосомальных пептидсинтетаз, тогда как у штаммов без выраженных антагонистических свойств лишь по одному. Полученные данные могут быть использованы для разработки метода ускоренного поиска штаммов с биофунгицидной активностью.

*Ключевые слова:* аэробные спорообразующие бактерии, *Fusarium*, НРПС, биофунгициды, антагонизм.

## Введение

**А**эробные спорообразующие бактерии родов *Bacillus* и *Paenibacillus* — чрезвычайно разнообразная группа бактерий, отличающаяся широким спектром активностей, которые обуславливают распространённость данных бактерий в различных средах обитания с сильно отличающимися физико-химическими свойствами.

Множество обнаруживаемых в различных средах обитания представителей *Bacillus* и *Paenibacillus* могут быть легко выделены и культивированы в лабораторных условиях. Так, например, по данным некоторых авторов количество культивируемых бактерий данных родов в почвенных образцах обычно составляет от 103 до 106 клеток на грамм почвы (Mahaffee, Klopper, 1997; Seldin et al., 1998).

Основной средой обитания бактерий рода *Bacillus* является почва и различные части растущих на этих почвах растений. Под почвой, чаще всего понимается поверхностный, плодородный слой земли (Нетрусов, 2004). Помимо почвы, а также растений, бактерии данного рода могут быть обнаружены в различных водных экосистемах (включая, донные отложения), а некоторые виды являются патогенными для насекомых и могут быть высеваны из пораженных насекомых (например, *B. sphaericus*, *B. thuringiensis*, *P. larvae*) (Govindasamy et al., 2011).

Повсеместная распространённость аэробных спорообразующих бактерий р. *Bacillus* и *Paenibacillus*, а также разнообразный профиль, проявляемых ими активностей обуславливают возросший научно-исследовательский интерес к изучению и последующему применению данной группы почвенных микроорганизмов.

Известно множество примеров использования бактерий рода *Bacillus* в качестве биопрепаратов (Сопрунова и др., 2020). Кроме того, спорообразующие бактерии — продуценты разнообразных ферментов. Представители этой группы бактерий широко используются в различных странах мира для промышленной выработки широкого спектра гидролитических ферментов (Кузнецова и др., 2003; Abd-Elhalem et al., 2015).

Данные микроорганизмы применяются в самых разных сферах: растениеводство (Сираева, 2012), животноводство (Алексеев и др., 2015), экологическая очистка загрязнений природных экосистем (Пешков и др., 2015; Сунгурцева и др., 2015) и др.

При этом важно отметить, что огромное значение бактерии данных родов в сфере растениеводства обусловлен спектром активностей, которые присущи этой группе бактерий. Так бактерии родов *Bacillus* и *Paenibacillus* способны обеспечивать доступность элементов минерального питания растений, например путём мобилизации фосфора (Prakash, Arora, 2019), мобилизации калия (Yasin et al., 2016), мобилизации цинка и железа (Hussain et al., 2020); способны стимулировать рост растений за счёт продукции веществ с фитогормональной активностью, таких как: ауксины (Mei et al., 2014), цитокинины (Selvakumar et al., 2018), абсцизовые кислоты (Shin et al., 2019), гибберелиновые кислоты (Radhakrishnan, Lee, 2016), а также способны регулировать уровень этилена в растениях путем продукции фермента 1-аминоциклопропан-1-карбоксилат (АЦК) деаминазы, который гидролизует предшественник этилена, (АЦК), до аммиака и альфа-кетобутирата (Gupta, Pandey, 2019).

Кроме того, высокий потенциал использования бактерий данной группы в решении сельскохозяйственных проблем обусловлен и их высокой антагонистической активностью в отношении различных фитопатогенных организмов, особо опасными из которых являются фитопатогенные грибы.

Так среди проблем, связанных с фитопатогенными грибами, значительно выделяются грибковые болезни злаковых культур, особенно опасными из которых являются различные фузариозы озимой пшеницы. При благоприятных условиях данная группа грибковых инфекций развивается всегда, и при этом вспышки инфекций наблюдаются практически во всех регионах, в которых возделывают пшеницу (Монастырский, 2016). Фузариозам подвержены все злаковые культуры, но наиболее распространённым считается фузариоз колоса и зерна пшеницы, который может приводить к потерям урожая вплоть до 40% (Антошина и др., 2008). Опасность поражения злаковых культур грибами р *Fusarium* заключа-

ется также в их способности в течение своего развития производить токсичные продукты жизнедеятельности (Гагкаева и др., 2011).

В основе высокой антагонистической активности аэробных спорообразующих бактерий в отношении большого количества фитопатогенных организмов лежит способность синтезировать соединения различной природы. Так противогрибковые соединения бактериальной природы можно разделить на: ферменты способствующие дергадаци компонентов клеточной стенки грибов (хитиназ,  $\beta$ -1,3-глюканаз), поликетидов, дипептидов и липопептидов.

Соединения последней группы — циклические липопептиды, синтезируемые без участия рибосом, благодаря работе ферментов с модульной организацией, которые относятся к семейству НРПС (нерибосомальные пептидсинтетазы) (Palazzini et al., 2016). Данная группа ферментов способны синтезировать пептиды размером от 2 до 48 аминокислот. Синтезируемые с помощью НРПС пептиды, в отличие от рибосомально синтезированных, могут содержать в своем составе не только протеиногенные аминокислоты, но также метилированные, гидроксильные и гликозилированные остатки, D-аминокислоты и даже непротеиногенные аминокислоты (Süssmuth, Mainz, 2017), что и обуславливает активность данных соединений в отношении различных микроорганизмов.

### Цель исследования

Целью исследования являлось изучение спектра генов нерибосомальных пептидсинтетаз у аэробных спорообразующих бактерий родов *Bacillus* и *Paenibacillus* с различной степенью выраженности антагонизма в отношении грибов р. *Fusarium*, для разработки способа ускоренного подбора биофунгицидных штаммов.

### Материалы и методы

Для проведения работ по поиску генов нерибосомальных пептидсинтетаз были отобраны штаммы бактерий с высокой антагонистической активностью, а также штаммы без выраженных антагонистических свойств. Отбор штаммов бактерий, места отбора почвенных проб и антагонистическая активность штаммов с биофунгицидной активностью подробно описаны в предыдущей работе (Gorovtsov et al., 2019). Штаммы с высокой антагонистической активностью в последствии были идентифицированы методом секвенирования последовательности гена 16S рРНК во всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (ВКПМ). Идентификация штаммов без выраженных

Таблица 1. Характеристики праймеров, использованных для поиска генов НРПС

Мишень	Последовательность праймера	Tm °C	Длина ампликона, п.н.	Источник
<b>Нерибосомальные пептид синтетазы</b>				
Сурфактин синтетаза, ген <i>srfAA</i>	F: TTTAATAGCGGCCATCTG R: GAAGTGTCTTCATCAGATCC	54	993–1036	(Coutte et al., 2010)
Фенгидин синтетаза, ген <i>fenC</i>	F: CTGAATCTCTTGCGCCATGT R: TGATCTGTGTGCTCCTTCA	60	214	(Zihahirwa Kulimushi et al., 2017)
Фузарицидин синтетаза, ген <i>fusA</i>	F: GCAGAGGATGATAGTGTGGTC R: CAGCACATCATGCGTTCC	60	110	(Raza et al., 2015)
Полимиксин синтетаза, ген <i>pmxE</i>	F: GAATCGGCTCGTCTCTCCAG R: GATGTGGACATTACGCGCAC	60	775	Primer Blast
Итурин синтетаза, ген <i>ituA</i>	F: TCCAGACAATGACGGATGGC R: TTGAAGGACCACGAGTTCCGG	57	994	(Narendra Kumar et al., 2017)
<b>Референсные гены</b>				
Ген малой субъединицы рибосомы <i>16s rRNA Bacillus</i>	F: CCTACGGGAGGCAGCAG R: ATTACCGCGGCTGCTGG	64	195	(Sun et al., 2013)
Ген малой субъединицы рибосомы <i>16s rRNA Paenibacillus</i>	F: CATTTCATCGTTTACGGCGT R: TGTTAATCCCGAGGCTCACT	64	210	(Raza et al., 2010)

антагонистических свойств проводили с использованием морфологических признаков и биохимических тестов.

Для выделения ДНК штаммы предварительно культивировали в течение. Выделение ДНК из клеток бактерий проводили с использованием коммерческого набора для выделения ДНК «ДНК Сорб С–М» (Amplisens, Россия). Выделение производили из суточной культуры, выращенной на Сусло-МПА. При необходимости проводили очистку ДНК с использованием набора CleanMag DNA (Евроген, Россия).

Выбор диапазона тестируемых температур для отжига праймеров проводили с использованием различных калькуляторов (Bio-Rad Ta calc, Tm Calculator New England Biolabs, Melting Temperature (Tm) Calculation University of the Basque Country, Oligo Calc).

Так предварительный подбор позволил определить диапазон для тестируемых температур отжига большинства подобранных праймеров: от 54 °C до 65 °C.

Для подбора оптимальной температуры отжига праймеров проводили градиентную ПЦР в приборе CFX96 (Bio-Rad, США), с использованием коммерческого набора «ScreenMix» (Евроген) и ДНК в качестве матрицы.

Поиск генов НРПС у штаммов бактерий с различным уровнем антагонизма в отношении грибов р. *Fusarium*

проводили с использованием коммерческого набора «ScreenMix» (Евроген) и ДНК в качестве матрицы.

Каждая ПЦР проводилась по программе:

1. Предварительная денатурация 95 °C 5 минут
2. Денатурация 95 °C 30 секунд,
3. Отжиг праймеров с градиентом от 54 °C до 65 °C 30 секунд,
4. Элонгация при 70 °C 60 секунд.

Пункты со 2 по 4 повторяли 40 раз

Каждая проба для постановки ПЦР имела следующий состав: 14,4 мкл ПЦР воды, 5 мкл ScreenMix, по 0,3 мкл каждого из праймеров (исходная концентрация каждого праймера 10 мкМ), 5 мкл ДНК (с концентрацией 2 нг/мкл), 5 мкл минерального масла.

В последующем полученные ПЦР-продукты вносили в 1,5% агарозный гель с бромистым этидием, проводили электрофорез при 143В, 9,4 Вт, 120 мА, в течение 30–50 минут с последующей визуализацией получившихся фрагментов каждые 15 минут в системе Gel Dock (Bio-Rad, США). В качестве отрицательного контроля в ПЦР использовали полную реакционную пробу, в которую вносили 5 мкл ПЦР воды вместо ДНК.

Серию постановок ПЦР проводили с использованием праймеров представленных в таблице ниже (Таблица 1). В графе температура отжига, указаны подобранные экспериментальным путем температуры.

Таблица 2. Гены различных нерибосомальных пептидсинтетаз, обнаруженные у штаммов бактерий-антагонистов методами ПЦР и электрофореза

		Штаммы бактерий (условное обозначение на графиках далее)									
		K1.14 (VI)	O1.27 (I)	O2.11 (VIII)	R3.13 (II)	V3.14 (IX)	R4.5 (V)	R4.6 (IV)	R4.24 (X)	R5.31 (III)	R6.14 (VII)
Гены	srfAA	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-
	fenC	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-
	fusA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	pmxE	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+
	ituA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16sBam	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	16sPmx	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+

Таблица 3. Гены различных нерибосомальных пептидсинтетаз, обнаруженные у штаммов бактерий без антагонистической активности методами ПЦР и электрофореза

		Штаммы бактерий (условное обозначение на графиках далее)		
		3	5	9
Гены	srfAA	-	-	+
	fenC	-	+	-
	fusA	+	-	-
	pmxE	-	-	-
	ituA	-	-	-
	16sBam	+	+	+

## Результаты и обсуждение

Так проведенная идентификация штаммов бактерий, позволила выявить, что большая часть штаммов бактерий с высокой антагонистической активностью в отношении грибов были идентифицированы как представители рода *Paenibacillus* (*P. polymyxa* R5.31, *P. peoriae*—O1.27, O2.11, R3.13, R4.5, R6.14, *P. jamilae*—K1.14, R4.24), а также 2 штамма были идентифицированы как вид *B. amyloliquefaciens* (R4.6, V3.14).

Идентификация штаммов без выраженных антагонистических свойств позволила определить, что штаммы 3, 5 и 9 могут быть отнесены к р. *Bacillus*.

В дальнейшем был проведен анализ имеющихся генов нерибосомальных пептидсинтетаз методами ПЦР и электрофореза.

Результат проведенного поиска генов синтеза различных НРПС у отобранных штаммов бактерий-антагонистов представлен в Таблице 2.

Исходя из данных, представленных в Таблице 2 можно сделать вывод, что у штаммов относящихся к роду *Bacillus* (V3.14, R4.6) помимо генов, отвечающих за синтез сурфактин (*srfAA*) и фенгицин синтетаз (*fenC*), был обнаружен ген *fusA*, отвечающий за синтез фузарицидин синтетазы.

Хотя наличие генов синтеза фузарицидин синтетазы обычно характерно лишь для бактерий рода *Paenibacillus*, присутствие этого гена у бактерий рода *Bacillus* может быть объяснено либо горизонтальным переносом генов, либо наличием близкого аналога этого гена (ортолога).

Также, ожидаемо было выявлено наличие референсного гена 16s субъединицы рибосомы (*16s Bam*).

В случае анализа продуктов ПЦР у штаммов бактерий, относящихся к роду *Paenibacillus*, из всех изученных мишеней были обнаружены лишь гены, ответственные за синтез фузарицидин и полимиксин (*pmxE*) синтетаз. Данные гены были обнаружены у всех 8 штаммов относящихся к данному роду бактерий.

Подбор референсного гена для бактерий данного рода позволил выявить, что в дальнейшей работе могут быть использованы как праймеры *16s Bam*, поскольку они являются универсальными праймерами для обнаружения гена *16s* у всех бактерий, так и праймеры *16sPmx*, которые предпочтительны для штаммов р. *Paenibacillus* из-за их родовой специфичности.

Так же спектр имеющихся генов НРПС у штаммов без антагонистических свойств проверяли методом ПЦР и последующим анализом продуктов реакций в 1,5% агарозном геле с бромистым этидием (таблица 3).

Как можно видеть, исходя из данных таблицы, у каждого из штаммов бактерий без антагонистической активности было обнаружено лишь по одному гену НРПС. В качестве референсного гена для данных штаммов использовали праймеры *16sBam*.

Таким образом в ходе проведенного анализа было установлено, что у штаммов с высоким уровнем антагонистической активности в отношении грибов рода *Fusarium* (диаметр зоны подавления роста грибов выше 24 мм), имеют в своём геноме самый минимум по два гена различных оперонов нерибосомальных пептидсинтетаз, тогда как у штаммов без выраженных антагонистических свойств количество генов не превышает одного. Подводя итог можно заключить, что количественный анализ генов различных нерибосомальных пептидсинтетаз у штаммов бактерий данной группы может быть одним из потенциальных способов ускоренного поиска штаммов-антагонистов с противогрибковой активностью.

### Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20–34–90057.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев И.А., Волков А.М., Иванова Р.Н. и др. Опыт выращивания телят с применением пробиотика споробактерина // Аграрный Вестник Урала. 2015. № 2 (132). С. 12–15.
2. Антошина О.А., Веневцев В.З., Дацюк П.В. и др. Оценка состояния посевов озимой пшеницы по фазам вегетации в условиях Центрального района Нечерноземной зоны // Москва: Федеральное государственное учреждение «Российский центр сельскохозяйственного консультирования», 2008. — 53 с.
3. Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М. и др. Фузариоз зерновых культур // Защита и карантин растений. — 2011. — Т. 5. — № . 69. — С. 1.
4. Кузнецова Т.Н. Патент № 2208633 С1 Российская Федерация, МПК C12N1/20, C12N9/56, C12R1/25. Штамм *Bacillus subtilis* P-1 — продуцент протеазы: № 2001130859/13: заявл. 14.11.2001: опубл. 20.07.2003 / Т.Н. Кузнецова, Р.С. Нафиков, М.М. Алсынбаев, В.Ф. Кулагин; заявитель Государственное унитарное предприятие «Имунопрепарат».
5. Монастырский О.А. Микотоксины-глобальная проблема безопасности продуктов питания и кормов // Агрохимия. — 2016. — № . 6. — С. 67–71.
6. Нетрусов А.И. Экология микроорганизмов. Москва: Академия, 2004. 272 с.
7. Пешков С.А., Сизенцов А.Н., Никиян А.Н. и др. Исследование биоаккумуляции тяжелых металлов бактериями рода *Bacillus* с использованием рентгенофлуоресцентного анализа и атомно-силовой микроскопии // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № . 4. — С. 526–526.
8. Сираева З.Ю. Биопрепарат для стимуляции роста и защиты растений от болезней на основе *Bacillus amyloliquefaciens* ВКПМ В-11008 // Автореф. дисс. . . . кан. биол. — 2012. — № . 2012. — 24 с.
9. Сопрунова О.Б., Сопрунова В.Е., Байрамбеков Ш.Б. и др. Изучение влияния биопрепарата на основе *Bacillus atrophaeus* на урожайность картофеля // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. — 2020. — Т. 8. — № . 4. — С. 86–95. — DOI 10.14529/food200411.
10. Сунгурцева И.Ю., Любунь Е.В., Муратова А.Ю. и др. Исследование динамики биоаккумуляции кадмия (II) ризобактерией *Bacillus* sp. 14 // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. — 2015. — Т. 15. — № . 4. — С. 74–77. — DOI 10.18500/1816–9775–2015–15–4–74–77.
11. Abd-Elhalem B.T., El-Sawy M., Gamal R.F. et al. Production of amylases from *Bacillus amyloliquefaciens* under submerged fermentation using some agro-industrial by-products // Annals of Agricultural Sciences. — 2015. — Т. 60. — № . 2. — С. 193–202. — DOI 10.1016/j.aos.2015.06.001.
12. Coutte F., Leclère V., Béchet M. et al. Effect of pps disruption and constitutive expression of *srfA* on surfactin productivity, spreading and antagonistic properties of *Bacillus subtilis* 168 derivatives // Journal of applied microbiology. — 2010. — Т. 109. — № . 2. — С. 480–491. — DOI 10.1111/j.1365–2672.2010.04683.x.
13. Gorovtsov A.V., Vasilchenko N.G., Prazdnova E.V. et al. The influence of soil type and preceding crop on the suppression of fusarium by indigenous spore-forming bacteria // Periodico Tche Quimica. — 2019. — Т. 16. — № . 33. — С. 225–240.
14. Govindasamy V., Senthilkumar M., Magheshwaran V. et al. *Bacillus* and *Paenibacillus* spp.: potential PGPR for sustainable agriculture // Plant growth and health promoting bacteria. — Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. — С. 333–364. — DOI 10.1007/978–3–642–13612–2\_15.
15. Gupta S., Pandey S. ACC deaminase producing bacteria with multifarious plant growth promoting traits alleviates salinity stress in French bean (*Phaseolus vulgaris*) plants // Frontiers in Microbiology. — 2019. — Т. 10. — С. 1506. — DOI 10.3389/fmicb.2019.01506.
16. Hussain A., Ahmad M., Nafees M. et al. Plant-growth-promoting *Bacillus* and *Paenibacillus* species improve the nutritional status of *Triticum aestivum* L // PLoS One. — 2020. — Т. 15. — № . 12. — С. e0241130. — DOI 10.1371/journal.pone.0241130.

17. Kumar P.N., Swapna T.H., Khan M.Y. et al. Statistical optimization of antifungal iturin A production from *Bacillus amyloliquefaciens* RHNK22 using agro-industrial wastes //Saudi journal of biological sciences. — 2017. — Т. 24. — № 7. — С. 1722–1740. — DOI 10.1016/j.sjbs.2015.09.014.
18. Mahaffee W.F., Kloepper J.W. Temporal changes in the bacterial communities of soil, rhizosphere, and endorhiza associated with field-grown cucumber (*Cucumis sativus* L.) //Microbial Ecology. — 1997. — Т. 34. — № 3. — С. 210–223. — DOI 10.1007/s002489900050.
19. Mei L., Liang Y., Zhang L. et al. Induced systemic resistance and growth promotion in tomato by an indole-3-acetic acid-producing strain of *Paenibacillus polymyxa* //Annals of applied biology. — 2014. — Т. 165. — № 2. — С. 270–279. — DOI 10.1111/aab.12135.
20. Palazzini J.M., Ramirez M.L., Torres A.M. et al. Potential biocontrol agents for *Fusarium* head blight and deoxynivalenol production in wheat //Crop Protection. — 2007. — Т. 26. — № 11. — С. 1702–1710. — DOI 10.1016/j.cropro.2007.03.004.
21. Prakash J., Arora N.K. Phosphate-solubilizing *Bacillus* sp. enhances growth, phosphorus uptake and oil yield of *Mentha arvensis* L //3 Biotech. — 2019. — Т. 9. — № 4. — С. 1–9. — DOI 10.1007/s13205-019-1660-5.
22. Radhakrishnan R., Lee I.J. Gibberellins producing *Bacillus methylotrophicus* KE2 supports plant growth and enhances nutritional metabolites and food values of lettuce //Plant Physiology and Biochemistry. — 2016. — Т. 109. — С. 181–189. — DOI 10.1016/j.plaphy.2016.09.018.
23. Raza W., Yang X., Wu H. et al. Evaluation of metal ions (Zn<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> and Mg<sup>2+</sup>) effect on the production of fusaricidin-type antifungal compounds by *Paenibacillus polymyxa* SQR-21 //Bioresource technology. — 2010a. — Т. 101. — № 23. — С. 9264–9271. — DOI 10.1016/j.biortech.2010.07.052.
24. Raza W., Yuan J., Wu Y.C. et al. Biocontrol traits of two *Paenibacillus polymyxa* strains SQR-21 and WR-2 in response to fusaric acid, a phytotoxin produced by *Fusarium* species //Plant Pathology. — 2015. — Т. 64. — № 5. — С. 1041–1052. — DOI 10.1111/ppa.12354.
25. Seldin L., Rosado A.S., da Cruz D.W. et al. Comparison of *Paenibacillus azotofixans* strains isolated from rhizoplane, rhizosphere, and non-root-associated soil from maize planted in two different Brazilian soils //Applied and Environmental Microbiology. — 1998. — Т. 64. — № 10. — С. 3860–3868. — DOI 10.1128/AEM.64.10.3860-3868.1998.
26. Selvakumar G., Bindu G.H., Bhatt R.M. et al. Osmotolerant cytokinin producing microbes enhance tomato growth in deficit irrigation conditions //Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences. — 2018. — Т. 88. — № 2. — С. 459–465. — DOI 10.1007/s40011-016-0766-3.
27. Shin D.J., Yoo S.J., Hong J.K. et al. Effect of *Bacillus aryabhattai* H26–2 and *B. siamensis* H30–3 on growth promotion and alleviation of heat and drought stresses in Chinese cabbage //The plant pathology journal. — 2019. — Т. 35. — № 2. — С. 178. — DOI 10.5423/PPJ.NT.08.2018.0159.
28. Sun D.L., Jiang X., Wu Q.L. et al. Intragenomic heterogeneity of 16S rRNA genes causes overestimation of prokaryotic diversity //Applied and environmental microbiology. — 2013. — Т. 79. — № 19. — С. 5962–5969. — DOI 10.1128/AEM.01282-13.
29. Süßmuth R.D., Mainz A. Nonribosomal peptide synthesis — principles and prospects //Angewandte Chemie International Edition. — 2017. — Т. 56. — № 14. — С. 3770–3821. — DOI 10.1002/anie.201609079.
30. Yasin M., Munir I., Faisal M. Can *Bacillus* spp. enhance K<sup>+</sup> uptake in crop species //Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture. — Springer, New Delhi, 2016. — С. 163–170. — DOI 10.1007/978-81-322-2776-2\_12.
31. Zihalirwa Kulimushi P., Argüelles Arias A., Franzil L. et al. Stimulation of fengycin-type antifungal lipopeptides in *Bacillus amyloliquefaciens* in the presence of the maize fungal pathogen *Rhizomucor variabilis* //Frontiers in microbiology. — 2017. — Т. 8. — С. 850. — DOI 10.3389/fmicb.2017.00850.

© Васильченко Никита Геннадьевич ( nvasilchenko@sfedu.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫЕ РАСТЕНИЯ ТРАВЯНОГО ПОКРОВА БЕРЕЗОВЫХ КОЛКОВ В СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

## ECONOMICLY VALUABLE PLANTS OF THE GRASS COVER OF BIRCH PEGS IN THE NORTHERN FOREST-STEPPE OF THE TYUMEN REGION

**O. Kulyasova  
A. Iglovikov**

*Summary.* In the conditions of the northern forest-steppe of the Tyumen region, the species richness and abundance of economically valuable species of herbaceous plants of birch pegs were studied. In the grass cover, 55 species of economically valuable plants of 11 genera of 21 families were found. 43 types of herbs are medicinal, 5 of them are used in official medicine. In second place in terms of representation of species are fodder plants and honey plants (30 species each). 29 types of herbs are distinguished by high decorative qualities. 19 species of plants are edible. The technical group includes tanning (10 species), dyeing (9 species) and essential oil plants (7 species). Due to the low abundance (sp-sol) of most species, the most promising direction of their economic use is the selection of valuable plant species for subsequent introduction into cultivation.

*Keywords:* economically valuable plants; grass cover; birch pegs; northern forest steppe.

**Кулясова Оксана Алексеевна**

К.б.н., доцент, Государственный аграрный университет Северного Зауралья г. Тюмень  
oksana-2505kul@mail.ru

**Игловиков Анатолий Валерьевич**

К.с.-х.н., доцент, Государственный аграрный университет Северного Зауралья г. Тюмень  
iglovikovav@gausz.ru

*Аннотация.* В условиях северной лесостепи Тюменской области изучено видовое богатство и обилие хозяйственно-ценных видов травянистых растений березовых колков. В травяном покрове обнаружено 55 видов хозяйственно-ценных растений 11 родов 21 семейства. Лекарственными являются 43 вида трав, из них 5 используются в официальной медицине. На втором месте по представленности видов кормовые растения и медоносы (по 30 видов). Высокими декоративными качествами отличаются 29 видов трав. К пищевым относятся 19 видов растений. В группу технических входят дубильные (10 видов), красильные (9 видов) и эфиромасличные растения (7 видов). В связи с невысоким обилием (sp-sol) большей части видов, наиболее перспективное направление их хозяйственного использования — отбор ценных видов растений для последующего введения в культуру.

*Ключевые слова:* хозяйственно-ценные растения; травяной покров; березовые колки; северная лесостепь.

## Введение

**Л**есные травы могут иметь разнообразное хозяйственное применение. Многие виды являются медоносами, источниками съедобных плодов и ягод, используются в медицине, являются сырьём для получения химических и биологически активных веществ [1]. Некоторые из этих видов уже в настоящее время активно применяются человеком, но большая их часть является перспективным резервом для будущего использования. Инвентаризация флоры с целью выявления такого резерва полезных растений имеет важное практическое значение. Существует большое количество работ, посвященных изучению хозяйственно-ценных лесных растений в различных регионах Российской Федерации в условиях разных природных зон [2–7]. Для лесостепи Западной Сибири такие исследования направлены, преимущественно, на изучение растительности массивных сосновых и березовых лесов

[8–11]. По колковым березнякам, которые составляют более половины лесного фонда лесостепных районов Тюменской области, информации совершенно недостаточно. В этой связи, изучение флоры березовых колков северной лесостепи Тюменской области и выявление основных групп полезных видов, несомненно, является актуальным.

## Цель исследований

Оценка видового богатства и обилия хозяйственно-ценных видов травянистых растений березовых колков в условиях северной лесостепи Тюменской области.

## Материалы и методы

Исследования проводились в 2021–2022 гг. на территории Абатского административного района Тюмен-

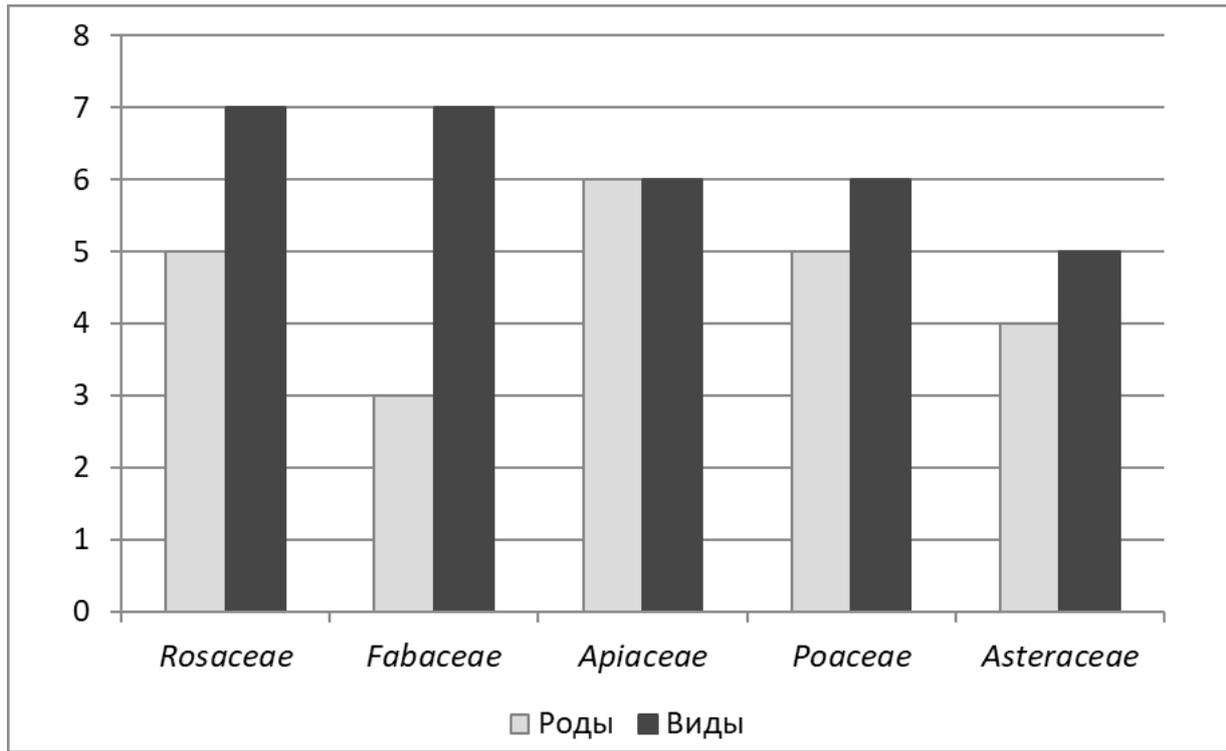


Рис. 1. Число видов и родов ведущих семейств хозяйственно-ценных растений травяного покрова березовых колков

ской области, расположенного в подзоне северной лесостепи. Почвенный покров района исследования представлен преимущественно серыми лесными почвами. Климат района континентальный. Территория района достаточно обеспечена теплом (средняя июльская температура 18 °С, средняя январская –19,5 °С) и слабо обеспечена осадками (в среднем 380 мм в год, большая часть которых выпадает в теплое время года) [12].

Изучение травяного покрова проводилось в ненарушенных вырубках колковых березовых лесах полнотой 0,6–0,8. Состав древостоя 10Б+Ос. Временные пробные площади включали не менее 20 деревьев основной породы. Учеты травянистой растительности на каждой пробной площади велись на 20 учетных площадках размером 1 × 1 м по методике А.П. Шенникова [13]. Определение хозяйственного значения видов осуществлялось согласно «Растительным ресурсам...» [14]. Оценка обилия видов проведена по шкале Друде [15].

### Результаты и обсуждение

В травяном покрове обследованных березовых колков обнаружено 55 видов хозяйственно-ценных растений, принадлежащих к 11 родам 21 семейства. Большая часть видов имеет двойное или множественное хозяй-

ственное назначение. В перечне полезных растений травяного покрова наиболее представлены виды семейств: Розоцветные (*Rosaceae*), Бобовые (*Fabaceae*), Зонтичные (*Apiaceae*), Злаки (*Poaceae*), Сложноцветные (*Asteraceae*) (рис. 1).

Все полезные травянистые растения отнесены нами к одной из хозяйственных групп: пищевые, медоносы, лекарственные, декоративные, эфиромасличные, дубильные, красильные, кормовые. Один вид может находиться сразу в нескольких хозяйственных группах (табл. 1).

Наиболее крупной по числу входящих в нее видов является группа лекарственных растений. В составе этой группы 43 вида. Из них 5 видов применяются в официальной медицине и входят в Государственную фармакопею: тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), душица обыкновенная (*Origanum vulgare*), земляника обыкновенная (*Fragaria vesca*), хвощ полевой (*Equisetum arvense*), хмель обыкновенный (*Humulus lupulus*). Обилие большинства из этих видов довольно невысокое, эксплуатационно-пригодные ресурсы составляет только земляника обыкновенная с обилием *sp-cop<sub>1</sub>* по шкале Друде. Основная часть лекарственных растений березовых колков применяется в народной медицине и ветеринарии: пижма

Таблица 1. Обилие и хозяйственное назначение полезных видов растений травяного покрова березовых колков северной лесостепи

Наименование видов	Обилие вида*	Хозяйственные группы**							
		Пищевые	Медоносы	Лекарственные	Декоративные	Эфиромасличные	Дубильные	Красильные	Кормовые
<i>Achillea asiatica</i>	sol	+	+	+	+	+			+
<i>Achillea millefolium</i>	sol	+	+	++	+	+			+
<i>Aegopodium podagraria</i>	sol	+		+					
<i>Agrimonia pilosa</i>	sol		+	+					+
<i>Agrostis gigantea</i>	sp-cop <sub>1</sub>				+				++
<i>Angelica officinalis</i>	sol	+	+	+			+		+
<i>Asparagus officinalis</i>	sol	+		+	++				
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	cop <sub>1-2</sub>				+				++
<i>Calamagrostis purpurea</i>	sp-cop <sub>1</sub>				+				++
<i>Equisetum arvense</i>	sp-sol			++				+	
<i>Equisetum sylvaticum</i>	sp-sol			+				+	
<i>Filipendula vulgaris</i>	sol		++	+					+
<i>Filipendula stepposa</i>	sp-sol		++	+	+	+	+		+
<i>Filipendula ulmaria</i>	sp-sol	+	++	+	+	+	+		+
<i>Elytrigia repens</i>	cop <sub>1-2</sub>	+		+					++
<i>Fragaria vesca</i>	sp-cop <sub>1</sub>	++	+	++					+
<i>Galium boreale</i>	sol			+				+	+
<i>Galium verum</i>	sol		++	+	+			+	+
<i>Geranium sibiricum</i>	sol			+			+		
<i>Glechoma hederacea</i>	sol		+	+			+		
<i>Heracleum sibiricum</i>	sol	+	+						+
<i>Humulus lupulus</i>	sol	++	+	++	+	+		+	
<i>Lathyrus pisiformis</i>	sol		+						+
<i>Lathyrus pratensis</i>	sol		+	+					++
<i>Lathyrus vernus</i>	sol		+	+	+				+
<i>Libanotis sibirica</i>	sol		+						
<i>Lilium martagon</i>	sol	+	+	+	++				
<i>Lysimachia vulgaris</i>	sol		+	+	+			+	
<i>Majanthemum bifolium</i>	sol	+		+	+				
<i>Origanum vulgare</i>	sol	++	+	++	+	++	+	+	
<i>Orthilia secunda</i>	sol			+			+		
<i>Paris quadrifolia</i>	sol			+	+				
<i>Phlomis tuberosa</i>	sol			+					+
<i>Phragmites australis</i>	sp-cop <sub>1</sub>	+		+	+				+
<i>Pimpinella saxifrage</i>	sol	+	+	+					+
<i>Platanthera bifolia</i>	sol		+	+	++				
<i>Pleurospermum uralense</i>	sol		+						+
<i>Poa angustifolia</i>	sp-cop <sub>1</sub>								++
<i>Polygonatum officinale</i>	sp-sol			+	+				
<i>Pulmonaria obscura</i>	sp-sol	+	+	+	+		+		
<i>Pyrola rotundifolia</i>	sol			+	++				
<i>Rubus saxatilis</i>	cop <sub>1-2</sub>	++		+	+				

Таблица 1 (продолжение). Обилие и хозяйственное назначение полезных видов растений травяного покрова березовых колков северной лесостепи

Наименование видов	Обилие вида*	Хозяйственные группы**							
		Пищевые	Медоносы	Лекарственные	Декоративные	Эфиромасличные	Дубильные	Красильные	Кормовые
<i>Sanguisorba officinalis</i>	sol	+	+	+	+		+	+	+
<i>Sedum purpureum</i>	sol	+	+	+	+				
<i>Serratula coronata</i>	sol		+	+					+
<i>Solidago virgaurea</i>	sol		++	+	+			+	
<i>Stachys sylvatica</i>	sol								
<i>Tanacetum vulgare</i>	sol			+	+	+	+		
<i>Trifolium lupinaster</i>	sol			+					++
<i>Veronica longifolia</i>	sol		+	+	+				+
<i>Vicia cracca</i>	sol			+					+
<i>Vicia sepium</i>	sol		+						+
<i>Vicia sylvatica</i>	sol		+	+					+
<i>Viola canina</i>	sol				+				
<i>Viola mirabilis</i>	sol				++				

Примечание: \*Обилие видов по шкале Друде: сор3 — вид встречается очень обильно; сор2 — вид встречается обильно; сор1 — вид встречается довольно обильно; sp — вид встречается рассеянно; sol — единичные растения.

\*\*Хозяйственное назначение растений: + — вид принадлежит к хозяйственной группе; ++ — вид отличается повышенной хозяйственной ценностью.

обыкновенная (*Tanacetum vulgare*), купена лекарственная (*Polygonatum officinale*), дудник лекарственный (*Angelica officinalis*), ортилия однобокая (*Orthilia secunda*), кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis*) и др.

Второе место по представленности видов в травостое березовых колков делят кормовые растения и медоносы (по 30 видов). Наиболее ценными кормовыми растениями являются вейники тростниковидный (*Calamagrostis arundinacea*) и пурпуровый (*Calamagrostis purpurea*), полевица гигантская (*Agrostis gigantea*), пырей ползучий (*Elytrigia repens*), мятлик узколистый (*Poa angustifolia*), чина луговая (*Lathyrus pratensis*), клевер люпиновый (*Trifolium lupinaster*). Эти растения охотно поедаются сельскохозяйственными животными, поэтому могут быть использованы для заготовки сена, а в разреженных колках — и для выпаса скота. Среди кормовых видов растений максимальным обилием (до сор<sub>2</sub>) от-

личаются злаки. Они формируют существенную часть фитомассы травяного покрова и являются основным кормовым ресурсом березовых колков.

Наиболее ценными медоносными свойствами обладают золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea*), таволги вязолистная (*Filipendula ulmaria*), обыкновенная (*Filipendula vulgaris*) и степная (*Filipendula stepposa*), подмаренник настоящий (*Galium verum*). Неплохими медоносами служат также душица обыкновенная, чина луговая, чина гороховидная (*Lathyrus pisiformis*), чина весенняя (*Lathyrus pratensis*), вероника длиннолистная (*Veronica longifolia*). Обилие этих видов в травостое колковых березняков невысокое (sp-sol), но их разнообразие может обеспечить в целом хороший сбор нектара и пыльцы.

Декоративными являются 29 видов травянистых растений, из них наиболее высокими декоративными качествами характеризуются аспарагус лекарственный

(*Asparagus officinalis*), лилия-саранка (*Lilium martagon*), грушанка круглолистная (*Pyrola rotundifolia*), фиалка удивительная (*Viola mirabilis*). В состав группы входит также охраняемый вид — лесная орхидея любка двулистная (*Platanthera bifolia*). Перечисленные виды имеют невысокое обилие в травяном покрове (*sol*), но с учетом их особой декоративности рекомендуются для выращивания в качестве культурных растений. В ландшафтном дизайне в качестве газонных трав могут использоваться декоративные злаки: вейники тростниковидный и пурпурный, полевица гигантская, тростник южный (*Phragmites australis*). Полевицу гигантскую и пырей ползучий также возможно включать в состав смесей для рекультивации нарушенных земель.

В травяном покрове березовых колков обнаружено 19 видов растений, пригодных в пищу человеку. Наиболее важными из них являются костяника каменистая (*Rubus saxatilis*) и земляника лесная (с обилием от «обильно» до «рассеянно»), ягоды которых местное население употребляет в пищу в сыром и переработанном виде. Хозяйственную ценность представляют также виды хмель обыкновенный (*Humulus lupulus*), шишки которого используются в пивоварении, и душица обыкновенная (*Origanum vulgare*) — растение, известное далеко за пределами России, цветы и листья которого широко применяются в кулинарии. Душицу обыкновенную совместно с таволгой вязолистной и степной нередко используют для приготовления чайных сборов. Большая часть потенциально съедобных растений (борщевик сибирский (*Heracleum sibiricum*), медуница неясная (*Pulmonaria obscura*), очиток пурпурный (*Sedum purpureum*), майник двулистный (*Majanthemum bifolium*), аспарагус лекарственный, лилия-саранка и др.) в настоящее время практически не используется населением, однако эти виды обладают достаточно высокими питательными свойствами и представляют собой перспективный пищевой ресурс.

К растениям, используемым в технических целях, относятся дубильные, красильные и эфиромасличные виды. Дубильные виды отличаются высоким содержанием танинов и могут быть использованы в различных отраслях легкой промышленности (кожевенная, текстильная и др.). В травяном покрове березовых колков отмечены 10 видов дубильных растений, среди них лучшими дубильными качествами обладают герань сибирская (*Geranium sibiricum*), будра плющевидная (*Glechoma hederacea*), ортилия однобокая, медуница неясная.

Красильные растения содержат красящие вещества различного химического состава, главным образом гликозиды. К красильным нами отнесены 9 видов травянистых растений березовых колков, в том числе: хво-

щи полевой (*Equisetum arvense*) и лесной (*Equisetum sylvaticum*), подмаренники северный (*Galium boreale*) и настоящий (*Galium verum*), вербейник обыкновенный (*Lysimachia vulgaris*), характеризующиеся хорошими красильными свойствами.

Эфиромасличные виды содержат эфирные масла, являющиеся ценным сырьем для производства косметологической и парфюмерной продукции. В травостое колковых березняков обнаружены 7 эфиромаслических видов: тысячелистники обыкновенный и азиатский (*Achillea asiatica*), таволги вязолистная и степная, хмель обыкновенный, пижма обыкновенная. Особо ценными свойствами обладает эфирное масло душицы обыкновенной, которое широко применяется в косметологии, дерматологии и ароматерапии.

Необходимо отметить, что технические виды в целом характеризуются относительно невысоким обилием (от *sp* до *sol*) в травяном покрове березовых колков. Это затрудняет применение данных видов растений в промышленных масштабах. Наиболее перспективным направлением их хозяйственного использования представляется отбор ценных видов трав для последующего введения в культуру.

## ВЫВОДЫ

1. В травяном покрове березовых колков обнаружено 55 видов хозяйственно-ценных растений, принадлежащих к 11 родам 21 семейства. Максимально представлены семейства *Rosaceae*, *Fabaceae*, *Apiaceae*, *Poaceae*, *Asteraceae*.
2. Наиболее крупной является группа лекарственных растений. Включает 43 вида, из них 5 видов используются в официальной медицине и входят в Государственную фармакопею, остальные виды применяются в народной медицине и ветеринарии.
3. На втором месте по представленности видов кормовые растения и медоносы (по 30 видов). Среди кормовых растений максимальным обилием (до *cop<sub>2</sub>*) отличаются злаки. Обилие медоносных видов невысокое (*sp-sol*), но их большое разнообразие может обеспечить в целом хороший медосбор.
4. Декоративными являются 29 видов травянистых растений. Особо декоративные виды рекомендуются для выращивания в качестве культурных растений, декоративные злаки возможно использовать в качестве газонных трав.
5. К пищевым относятся 19 видов травяного покрова. Они обладают достаточно высокими питательными свойствами и представляют собой ценный пищевой ресурс.

6. В группу технических входят дубильные (10 видов), красильные (9 видов) и эфиромасличные растения (7 видов). В связи с невысоким обилием

(*sp-sol*) наиболее перспективное направление их использования — отбор ценных видов для последующего введения в культуру.

ЛИТЕРАТУРА

1. Годовалов Г.А., Залесов С.В., Коростелёв А.С. Недревесная продукция леса: учебник для академического бакалавриата — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Юрайт, 2018. — 351 с.
2. Аржанников Ю.А., Боярский А.А., Панин И.А. Недревесные ресурсы живого напочвенного покрова в травянистых насаждениях Южно-Уральской таежной зоны // Леса России и хозяйство в них. — 2021. — № 1(76). — С. 29–35.
3. Белых О.А. Прогнозирование биопродуктивности хозяйственно-ценных травянистых многолетников // Аэкономика: экономика и сельское хозяйство. — 2017. — № 1(13). — С. 7.
4. Наумов И.В. Хозяйственно-ценные растения Южно-Чуйского хребта // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2008. — № 6(44). — С. 35–38.
5. Саксонов С.В., Сенатор С.А. Особо охраняемые растения Самарской области как резерватный ресурс хозяйственно-ценных видов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2013. — Т. 15. — № 3–2. — С. 867–873.
6. Семенютина А.В., Хужахметова А.Ш., Семенютина В.А., Сапронова Д.В. Выявление эффективности применения биологического разнообразия хозяйственно ценных растений в лесомелиоративных комплексах сухостепного региона // Московский экономический журнал. — 2019. — № 9. — С. 2.
7. Швыдка Н.В., Зеленская О.В. Хозяйственно-ценные растения в составе флоры // Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана: Сборник тезисов II Всероссийской научно-практической школы-конференции, пгт. Курортное: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт природно-технических систем», 2020. — С. 284–286.
8. Зуева А.Е., Кулясова О.А. Пищевые, кормовые и технические растения травяно-кустарничкового яруса сосновых насаждений на почвах разных типов в Северной лесостепи Тюменской области // Достижения молодежной науки для АПК: Сборник материалов LVI научно-практической конференции, Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2022. — С. 450–455.
9. Звягина Н.С., Шауло Д.Н. Хозяйственно-ценные виды растений Кузнецкой лесостепи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2008. — № 10(48). — С. 49–52.
10. Кулясова О.А. Хозяйственно-ценные растения травяно-кустарничкового покрова сосновых культур разного возраста в Северной лесостепи Тюменской области // Сборник статей II всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Современные научно-практические решения в АПК», Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2018. — С. 29–33.
11. Сальникова, Л.И. Изучение флоры и растительности окрестностей с. Горьковка Тюменского района с выявлением редких видов растений / Л.И. Сальникова, Э.А. Баева // АгроЭкоИнфо. — 2017. — № 1(27). — С. 14.
12. Иваненко А.С., Кулясова О.А. Агроклиматические условия Тюменской области. Тюмень: Изд-во ТГСХА, 2008. — 206 с.
13. Шенников А.П. Введение в геоботанику. Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. — 447 с.
14. Растительные ресурсы СССР (Цветковые растения, их химический состав, использование) /отв. ред. чл.-кор. АН СССР А.А. Федоров. Л.: Наука, 1984 — 460 с.
15. Методы изучения лесных сообществ. — СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. — 240 с.

DOI 10.37882/2223-2966.2022.12-2.18

# МИГРАЦИЯ И БИОКОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ВОДА — ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ — РАСТЕНИЯ» КЛЯЗЬМИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

## MIGRATION AND BIOCONCENTRATION OF HEAVY METALS IN THE «WATER — BOTTOM SEDIMENTS — PLANTS» SYSTEM OF THE KLYAZMA RESERVOIR

**S. Kurbatov  
V. Zubkova  
A. Gaponenko**

*Summary.* Based on the monitoring of the water area of the Klyazma reservoir, the quality of water, sediments and macrophytes for heavy metal pollution was analyzed. It has been established that the water of the Klyazma reservoir in all the studied sites has a high degree of contamination according to the total effect of compounds with a toxicological indicator of harmfulness. Bottom sediments contaminated with heavy metals in all storages have an acceptable degree of contamination. Isolated cases of exceeding the approximately permissible concentrations of zinc in the range 1 (3.6 APC) were noted. The high absorption capacity of *Typha latifolia* L. in relation to Mn, Fe, Zn has been established. In relation to Cu and Pb, the absorption capacity of *Lemna minor* L. was higher than *Typha latifolia* L.

*Keywords:* bottom sediments, aquatic plants, monitoring, heavy metals, limiting hazard index, biological absorption coefficient.

**Курбатов Сергей Андреевич**

Аспирант, Российский государственный  
социальный университет Москва  
mo-kurbatov@m-obvu.ru

**Зубкова Валентина Михайловна**

Д.б.н., профессор, Российский государственный  
социальный университет Москва  
vmzubkova@yandex.ru

**Гапоненко Альбина Вячеславовна**

К.п.н., доцент, Российский государственный  
социальный университет Москва  
gaponenkoav@rgsu.net

*Аннотация.* На основе мониторинга акватории Клязьминского водохранилища проанализировано качество воды, донных отложений и макрофитов по загрязнению тяжелыми металлами. Установлено, что вода Клязьминского водохранилища во всех исследуемых створах по суммарному действию соединений с токсикологическим показателем вредности имеет высокую степень загрязнения. Донные отложения по загрязнению ТМ во всех сторах имеют допустимую степень загрязнения. Отмечены единичные случаи превышения ориентировочно допустимых концентраций по цинку в створе 1 (3,6 ОДК). Установлена высокая поглотительная способность *Typha latifolia* L. по отношению к Mn, Fe, Zn. По отношению к Cu и Pb поглотительная способность *Lemna minor* L. была выше, чем *Typha latifolia* L.

*Ключевые слова:* донные отложения, водные растения, мониторинг, тяжелые металлы, лимитирующий показатель вредности, коэффициент биологического поглощения.

**В**одные объекты являются компонентами окружающей среды, на которых в первую очередь проявляется техногеохимическое воздействие человека. Сложившаяся система контроля и мониторинга аквальных экосистем базируется на анализе водной среды, характеризующейся динамичностью, неустойчивостью концентрации и состава химических элементов во времени, что значительно снижает её информативность и индикационную роль в исследованиях. В настоящее время при эколого-геохимической оценке состояния водных объектов большее значение придается анализу депонирующих сред: высшей водной растительности и донным отложениям [5;8].

Среди широкого спектра загрязнителей водной среды наиболее важное значение имеют тяжелые металлы,

обладающие канцерогенными, мутагенными и патогенными свойствами даже при низких концентрациях, отличающиеся биологической активностью, высокой технофильностью, отсутствием природных процессов деструкции в ландшафте.

Источниками поступления поллютантов в водоемы являются промышленные предприятия, сельскохозяйственные объекты, территории населенных пунктов и объектов рекреации, промышленные площадки и свалки отходов, емкости для хранения нефтепродуктов и химических веществ, системы канализации, объекты коммуникаций (автодороги, стоянки) и другие [6;7].

Способность макрофитов накапливать химические элементы положена в основу мониторинга за со-

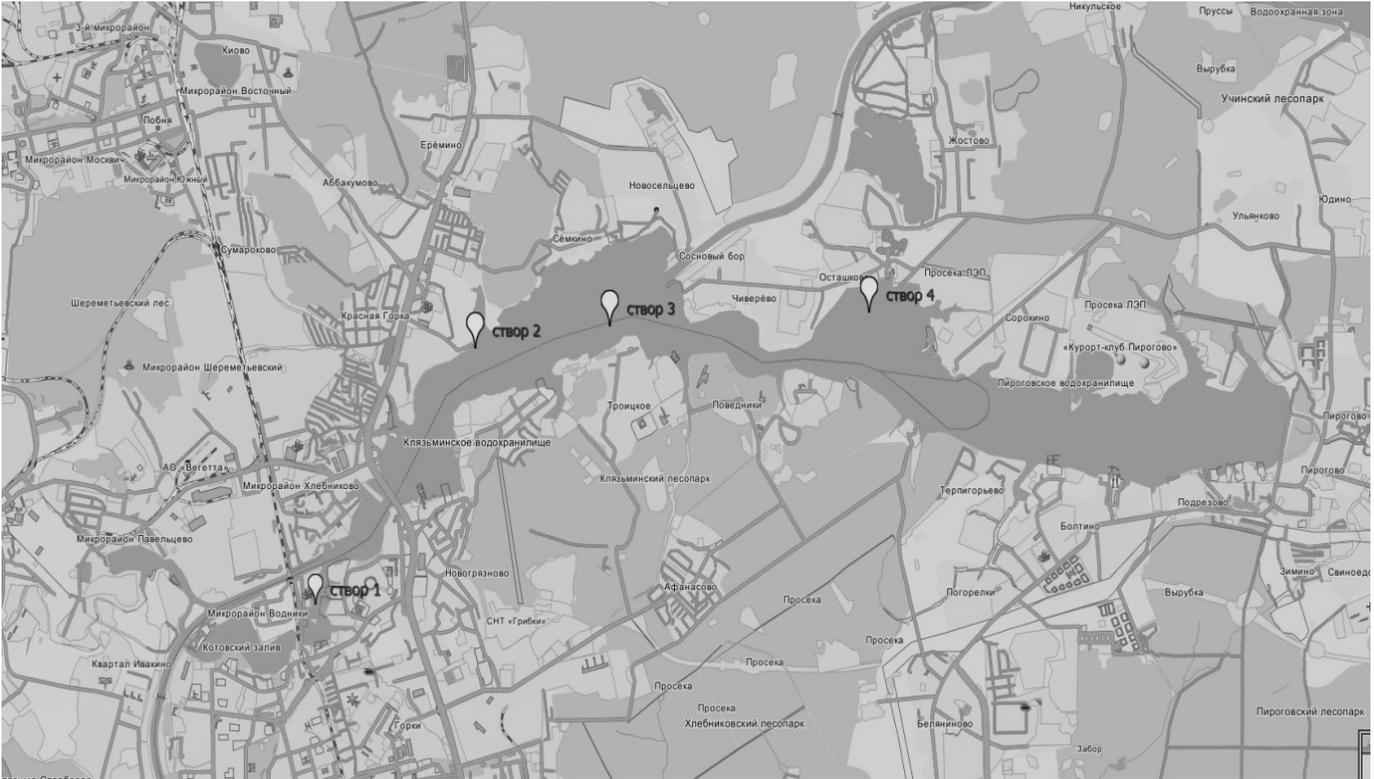


Рис. 1. Карта мест отбора проб воды Клязьминского водохранилища

стоянием высших водных растений, а также среды их произрастания. Высшая водная растительность (ВВР, макрофиты) — важнейший компонент экосистем континентальных водоемов. Велико её значение в процессах формирования качества воды и биологического режима водохранилищ. Особенно велика роль высшей водной растительности в водных объектах, испытывающих значительную антропогенную нагрузку, так как она играет главную роль в поддержании биотического баланса, участвуя как непосредственно, так и опосредованно в очистке водоема от загрязнений, поглощая их. Поэтому водные и околоводные растения могут служить весьма информативным показателем степени загрязнения экосистемы водного объекта [16;18].

Учитывая избирательную способность макрофитов к поглощению различных веществ, можно использовать водные растения как индикаторы присутствия загрязнителей в водной среде. Растения проявляют значительную устойчивость к кратковременным вспышкам загрязнения, однако могут накапливать поллютанты в тканях в больших количествах без видимых функциональных изменений. В наибольшей мере это относится к тяжелым металлам (ТМ), которые в отличие от органических поллютантов не способны разрушаться до безопасных форм. Поэтому содержание ТМ в золе растений — важная характеристика состояния загрязнения экосистемы [6;11].

Целью исследований явилось количественное определение Mn, Fe, Cu, Zn, Pb в воде, донных отложениях и высшей водной растительности Клязьминского водохранилища, относящегося к водохранилищам водораздельного бьефа Канала имени Москвы.

#### Методы

Полевые исследования, проведенные в условиях 2022 г., включали отбор проб воды, донных отложений, растений в четырех створах, равномерно распределенных по акватории водохранилища (рис. 1).

Анализы выполнены на базе аккредитованной лаборатории ООО «НПЦ «Промэнерго» с использованием общепринятых методик, внесенных в Реестр количественного химического анализа (КХА) и допущенных для государственного и производственного экологического контроля.

При отборе проб воды руководствовались требованиями ГОСТ 31861 и рекомендациями P52.24.353 [4;15].

Оценку качества воды осуществляли по лимитирующим показателям вредности, с учетом суммарного действия загрязняющих веществ одной группы ЛПВ и одного класса опасности. Лимитирующие показатели

Таблица 1. Содержание ТМ в воде Клязьминского водохранилища, в долях ПДКрх.

Створ	Элементы				
	Железо общее	Марганец, 2+	Медь	Свинец	Цинк
1	16,70	13,00	5,40	0,33	1,20
2	9,10	12,00	4,90	0,40	1,00
3	6,40	9,00	2,60	0,33	1,40
4	3,60	8,00	2,00	0,33	1,00
ПДК (мг/л)	0,1	0,01	0,001	0,006	0,01

вредности устанавливали в соответствии с приказом Минсельхоза России № 552 [13].

Работы по отбору проб донных отложений проводили в летнюю межень 2022 года в соответствии с ГН 2.1.7.2041–06, ГОСТ 17.1.5.01–80 и М–МВИ-80–2008 [5;9].

Содержание ТМ в анализируемых образцах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием прибора «Спектр 5–4».

Оценку качества донных отложений проводили в сравнении с ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) для почв, установленных СанПиНом 1.2.3685–21 [12].

Растения исследовали в летнюю межень 2022 г, когда растительная флора накапливает наибольшую массу. В качестве тест-объектов выбраны растения, отличающиеся степенью контакта их с водной средой,— рогоз широколистный (*Typha latifolia* L), формирующий прибрежную полосу растительности водоема, и ряску малую, (*Lemna minor*). Отбор растений для анализа выполнен на тех же пробных площадках (ПП), что и отбор проб воды и донных отложений. Образцы растений отмывали в воде от взвеси; высушивали и подвергали анализу на содержание тяжелых металлов атомно-абсорбционным методом по ГОСТ 30692–00 и ГОСТ 30178–96[2;3].

Накопление тяжелых металлов оценивали по коэффициентам биологического поглощения, рассчитанным по отношению к воде и донным отложениям по формуле  $KБП = C_p/C_w$  или  $C_d$ , где  $C_p$  — содержание ТМ в сухой массе, мг/кг;  $C_w$  или  $C_d$  — содержание ТМ в воде или донных отложениях, мг/л или мг/кг соответственно [10;11].

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью Microsoft Excel.

## Результаты и обсуждение

Оценку качества воды проводили по комбинированному действию группы токсикантов. Составлен ряд от-

ношений суммы фактических концентраций изучаемых элементов, нормируемых по одинаковому показателю вредности к предельно допустимым концентрациям этих элементов в водоемах рыбохозяйственного значения. Допустимой степенью загрязнения воды являются случаи, когда этот показатель не превышает 1 дозы.

Результаты исследования свидетельствуют о высокой степени загрязнения вод Клязьминского водохранилища по суммарному действию соединений с токсикологическим показателем вредности.

Во всех исследуемых створа содержание Fe, Mn, Cu превышало ПДК, содержание Zn в отдельных створах было равно ПДК (табл. 1).

В порядке убывания загрязненности, исходя из суммарного превышения ПДК соединений с токсикологическим показателем вредности, изучаемые створы Клязьминского водохранилища можно расположить в следующий ряд:

Створ 1 > створ 2 > створ 3 > створ 4

Определение химического состава природных вод, не может быть осуществлено без учета степени загрязненности донных отложений.

Донные отложения ввиду аккумулятивной способности к различным загрязнителям могут служить индикатором экологического состояния водоемов. При этом, ТМ, накапливаясь в донных отложениях переводят последние в потенциальный источник вторичного загрязнения [17].

По отношению к ОДК в почве, определенных в зависимости от гранулометрического состава и величины рН, концентрации тяжелых металлов в донных отложениях не превышали установленные гигиенические нормативы, за исключением створа 1, где содержание цинка составило 3,69 ОДК (табл. 2).

В соответствии со шкалой уровня химического загрязнения почв и грунтов, по суммарному показателю

Таблица 2. Содержание ТМ в донных отложениях

Место отбора	Элементы				
	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb
створ 1	197.33± 12.1	697± 51.4	32± 2.1	203± 10.0	10± 1.6
створ 2	194.56± 10.3	563± 32.3	27± 1.9	119± 4.6	менее 10
створ 3	188.45± 11.1	544± 33.6	24± 0.9	97± 3.3	менее 10
створ 4	179.52± 9.4	413± 27.4	10± 0.4	28± 0.6	менее 10

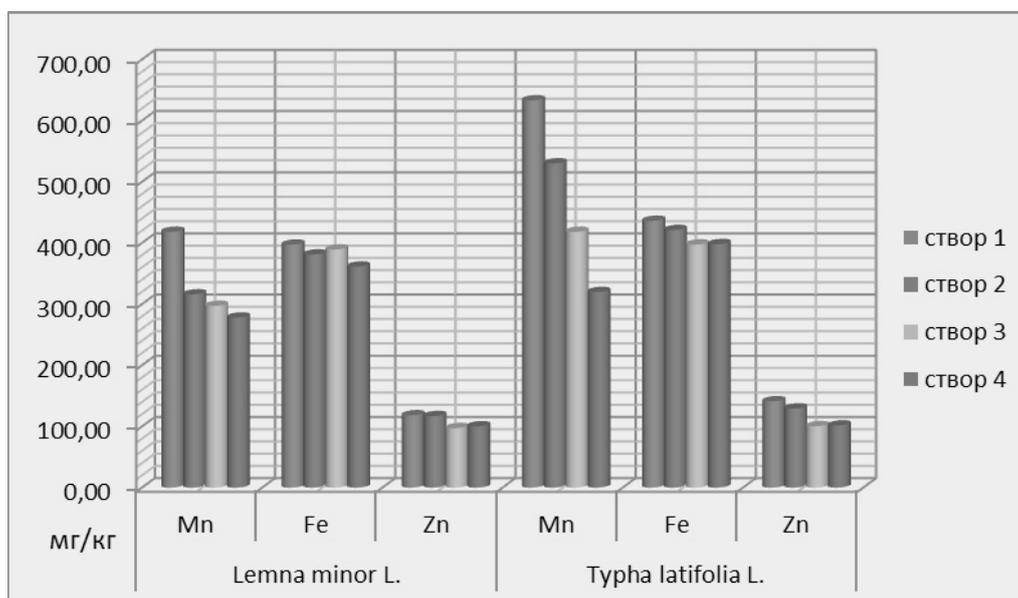


Рис. 2. Содержание Mn, Fe, Zn (мг/кг сухой массы) в Lemna minor L. и Typha latifolia L.

загрязнения, донные отложения во всех исследуемых створах имеют допустимую категорию загрязнения.

Большое значение для оценки состояния окружающей среды с использованием водной растительности является их постоянное присутствие в водной экосистеме и способность комбинировать влияние всех воздействий и отражать состояние окружающей среды в целом.

Анализ результатов исследования содержания ТМ в макрофитах произрастающих в Клязьминском водохранилище, свидетельствует о том, что их концентрация зависела в первую очередь от видовой принадлежности растений, вида загрязнителя и мест произрастания.

Устойчивость макрофитов к избытку ТМ проявляется неодинаково: одни виды способны накапливать

высокие концентрации ТМ без вреда для себя; другие проявляют толерантность путем максимального использования своих барьерных функций

Во всех исследуемых створах растения Typha latifolia L. накапливали большее количество изучаемых элементов по сравнению с Lemna minor L.

Максимальные концентрации Mn, Fe, Zn отмечены у Typha latifolia L. и Lemna minor L. в створе 1. Содержание Mn, Zn у исследуемых растений уменьшалось в ряду: створ 1 -> створ 2 -> створ 3 -> створ 4. Данная закономерность загрязнения по створам в целом характерна и для железа за исключением его содержания в Lemna minor L. во втором створе, где концентрация элемента несколько ниже по сравнению с третьим створом (рис. 2). Во всех исследуемых створах концентрация Fe, Zn превышала МДУ данных элементов в кормах [1].

Таблица 3. Ряды распределения ТМ в растениях акватории Клязьминского водохранилища

Створы	<i>Lemna minor</i> L	<i>Typha latifolia</i> L.
1	Mn>Fe>Zn>Cu>Pb	Mn>Fe>Zn>Cu>Pb
2	Fe>Mn>Zn>Cu>Pb	Mn>Fe>Zn>Cu>Pb
3	Fe>Mn>Zn>Cu>Pb	Mn>Fe>Zn>Cu>Pb
4	Fe>Mn>Zn>Cu>Pb	Fe>Mn>Zn>Cu>Pb

Таблица 4. Корреляционная зависимость содержания ТМ в *Typha latifolia* L., воде и донных отложениях.

Варианты	Железо	Марганец	Свинец	Цинк	Медь
Вода	0,94	0,99	-0,42	-0,21	0,90
Характер связи	высокая прямая		средняя обратная	слабая обратная	высокая прямая
ДО	0,86	0,97	0,17	0,87	0,57
Характер связи	высокая прямая		слабая прямая	высокая прямая	средняя прямая

Таблица 5. Корреляционная зависимость содержания ТМ в *Lemna minor*, воде и донных отложениях

Варианты	Железо	Марганец	Свинец	Цинк	Медь
Вода	0,81	0,85	0,30	-0,21	0,90
Характер связи	высокая прямая		средняя прямая	слабая обратная	высокая прямая
ДО	0,93	0,83	0,57	0,76	0,98
Характер связи	высокая прямая		средняя прямая	высокая прямая	

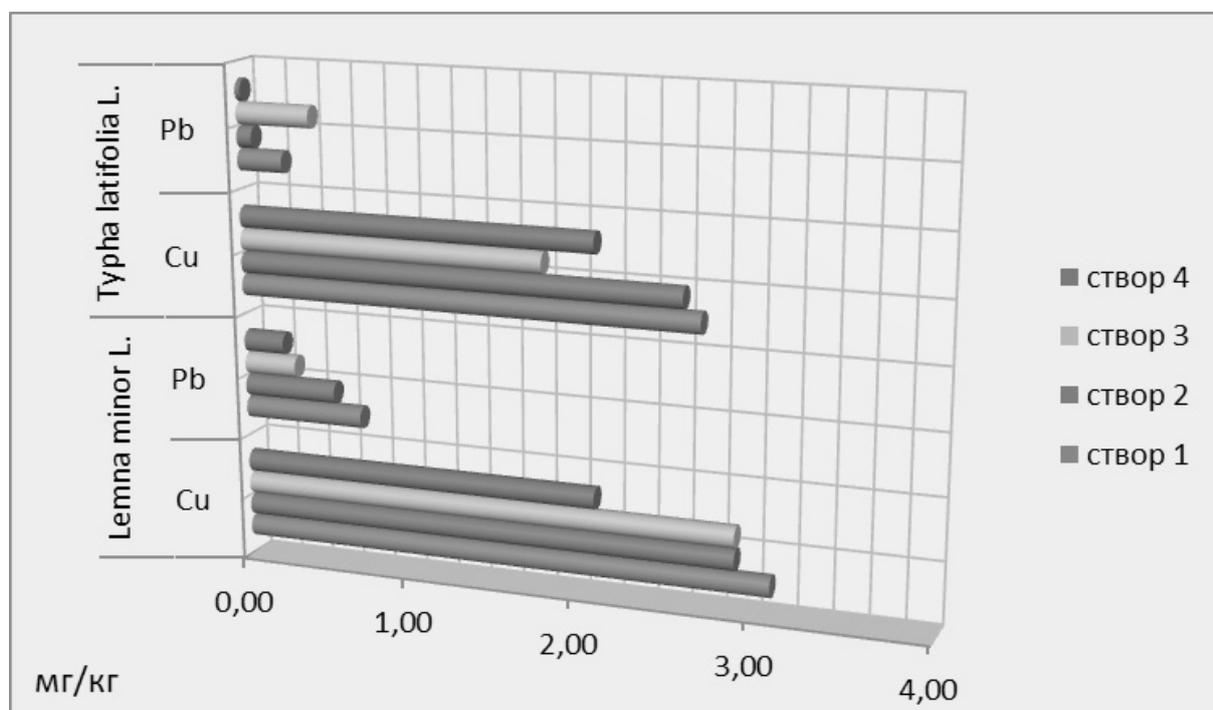


Рис. 3. Содержание Cu, Pb (мг/кг сухой массы) в *Lemna minor* L. и *Typha latifolia* L.

Таблица 6. Коэффициенты биоконцентрирования ТМ ВВР Клязьминского водохранилища.

КК					
Элемент	Створ	<i>Typha latifolia</i> L.		<i>Lemna minor</i>	
		по содержанию в воде	по содержанию в донных отложе	по содержанию в воде	по содержанию в донных отложе
Mn	1.	4870,00	3,21	3217,69	2,12
	2.	4417,50	2,72	2632,50	1,62
	3.	4647,80	2,22	3301,11	1,58
	4.	3996,30	1,78	3473,75	1,55
Pb	1.	135,00	0,03	355,00	0,07
	2.	37,50	0,01	229,17	0,06
	3.	220,00	0,04	155,00	0,03
	4.	15,50	0,00	120,00	0,02
Fe	1.	261,20	0,63	237,84	0,57
	2.	462,70	0,75	418,79	0,68
	3.	620,90	0,73	608,13	0,72
	4.	1105,60	0,96	1003,89	0,88
Zn	1.	11758,30	0,70	9850,83	0,58
	2.	12930,00	1,09	11700,00	0,98
	3.	7171,40	1,04	6950,00	1,00
	4.	10160,00	3,63	10020,00	3,58
Cu	1.	500,00	0,08	574,07	0,10
	2.	530,60	0,10	591,84	0,11
	3.	692,30	0,08	1115,38	0,12
	4.	1050,00	0,21	1050,00	0,21

Отмечено существенно более низкое содержание Pb и Cu в исследуемых растениях по сравнению с Mn, Fe, Zn, при этом закономерность содержания Pb и Cu по створам также изменялась (рис. 3) [].

Во всех исследуемых створах содержание Pb и Cu в *Lemna minor* L. и *Typha latifolia* L. не превышало МДУ для кормов [1]. Однако сравнение с ПДК по Прохоровой указывает на то, что Pb накапливался в *Lemna minor* L. в створах 1 и 2 (рис. 3) [14].

По содержанию ТМ изучаемые ВВР образуют следующие ряды [табл. 3]:

Корреляционный анализ зависимости содержания ТМ в *Typha latifolia* L., от концентрации ТМ в воде и донных отложениях указывает на высокую положительную связь концентрации Fe, Mn, в растениях с их количеством в воде и донных отложениях (табл. 4), а в *Lemna minor* — на высокую положительную связь concentra-

ции Fe, Mn, Zn, Cu в растениях с их количеством в донных отложениях (табл. 5).

Коэффициент концентрирования (КК) или фактор обогащения, учитывающий содержание ТМ в воде и донных отложениях и показывающий степень толерантности растений, определяется физиологическими особенностями *Typha latifolia* L. и *Lemna minor* и видом ТМ.

По способности накапливаться в *Typha latifolia* L. и *Lemna minor* во всех исследуемых створах из воды выделяются такие элементы как Mn, Cu, Zn, Fe. *Typha latifolia* L. из воды в створе 1 в наибольшем количестве накапливала Mn, Zn. Высокая накопительная способность *Lemna minor* по отношению к Mn, Fe, Cu отмечалась в створе 4 (Табл. 6).

К токсическому воздействию на растения Клязьминского водохранилища приводит высокое содержание

в воде Fe и Mn. Постоянное превышение ПДК по этим элементам приводит к биоконцентрированию их в растениях

Выявленная зависимость коэффициентов биологического поглощения тяжелых металлов в растениях от содержания их в воде и донных отложениях носит неоднозначный характер.

Неоднозначность в накоплении элементов по отношению к воде и донным отложениям Клязьминского водохранилища обусловлена изменяющимися концентрациями их в отдельных створах, связанными с рекреацией, сбросами ливневых стоков, а также формой нахождения тяжелых металлов в природных водах [7].

Однозначным является то, что макрофитами тяжелые металлы поглощаются активнее из воды, где коэффициенты биоконцентрирования для системы биота/вода на несколько порядков выше в сравнении с системой биота/донные отложения.

Коэффициент биоконцентрирования служит критерием для разделения гидробионтов на 3 группы по способности концентрировать ТМ — макро-, микро- и де-концентраторы [6].

В соответствии с такой классификацией изучаемые растения по отношению к воде можно отнести к сверхконцентраторам. По отношению к донным отложениям *Typha latifolia* L. и *Lemna minor* являются концентратором всех исследуемых элементов.

Повышенная поглотительная способность исследуемых растений по отношению к тяжелым металлам

отмечалась в створах с большим содержанием данных элементов в воде и донных отложениях.

Потенциальная накопительная способность растений может указывать на зависимость процесса аккумуляции от степени контакта растения с водной средой.

### Заключение

Повышенное содержание тяжелых металлов в воде обусловлено, в основном, рекреационной и хозяйственной деятельностью человека, а также природными факторами, характерными для Московского региона и обуславливающими периодические повышения концентраций отдельных компонентов в природной среде.

В исследуемых видах макрофитов отмечены значительные величины концентраций физиологически необходимых металлов — Mn, Fe, Zn. Незначительные уровни содержания в *Typha latifolia* L. и *Lemna minor* отмечены по Pb — металл, с неустановленной ролью в обменных процессах.

Различия в степени биоаккумуляции тяжелых металлов в исследованных растениях вызваны видоспецифичностью растений (разная физиологическая потребность в элементах), влиянием условий среды, принадлежностью по типу произрастания к разным экологическим нишам.

Выявлены различия в биофильности тяжелых металлов по отношению к содержанию элементов в растениях, воде и донных отложениях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках (утв. Главным управлением ветеринарии Государственного агропромышленного комитета СССР 7 августа 1987 г.).
2. ГОСТ 30178–96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов / Введ. 1998–01–01. — М.: Стандартинформ, 2010. 10 с.
3. ГОСТ 30692–2000. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Атомно-абсорбционный метод определения содержания меди, свинца, цинка и кадмия / Введ. 2002–01–01. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 19 с.
4. ГОСТ 31861–2012. Межгосударственный стандарт. Вода. Общие требования к отбору проб = Water. General requirements for sampling: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.11. 2012 г. № 1513-ст: введен впервые: дата введения 2014–01–01/ разработан ООО «Протектор» совместно с ЗАО «Центр исследования и контроля воды». Москва: Стандартинформ, 2019. — 32 с.
5. Зубкова В.М., Арсланбекова Ф.Ф., Макаханюк Ж.С. Накопление тяжелых металлов (ТМ) ряской малой (*Lemna minor*) в условиях антропогенного загрязнения реки Ходца // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. 2021. № 07. С. 23–28.
6. Зубкова В.М., Болотов Н.Ю., Белозубова Н.Ю. Содержание и миграция тяжелых металлов в компонентах экосистем Волгоградского водохранилища // Аграрная наука. 2015. № 1. С. 14–16.
7. Имантаев А.Б., Чеснокова Н.Ю. Содержание тяжелых металлов в высших водных растениях Северного Каспия // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 1. С. 87–96.

8. Курбатов С.А., Зубкова В.М., Пономарев А.Я. Сезонная динамика приоритетных загрязнителей воды Клязьминского водохранилища // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. 2022. № 01/2. С. 5–11
9. М–МВИ-80–2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии / Введ. 2008–06–02. М.: 000 Мониторинг, 2008. 36 с.
10. Никаноров, А.М. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах / А.М. Никаноров, А.В. Жулидов // Л.: Гидрометеиздат, 1991. 312 с.
11. Поваров В.Г., Соколова О.Б., Шигапова К.А., Павлова Н.С. Биоконцентрирование тяжелых металлов водными и прибрежными растениями (на примере Троицкого ручья, старый Петергоф) // Вестник СПбГУ. Серия 4. Физика. Химия. 2007. № 3.
12. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01. 2021 года № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
13. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (Зарегистрирован 13.01.2017 № 45203).
14. Прохорова Н.В., Матвеев Н.М. Тяжелые металлы в почвах и растениях в условиях техногенеза // Вестн. СамГУ. 1996. № 2. С. 125–144.
15. Р 52.24.353–2012 «Рекомендации. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод». Разработаны ФГБУ «Гидрохимический институт» (ФГБУ «ГХИ»), утверждены Заместителем Руководителя Росгидромета от 02.04.2012.
16. Сокольская Е.А., Бегманова Б.М. Результаты использования высшей водной растительности для доочистки сточных вод и загрязненных водоемов Астраханской области //Биоразнообразии, рациональное использование биологических ресурсов и биотехнологии. 2021. С. 153–155.
17. Emenike E.C., Iwuozor K.O., Anidiobi S.U. Heavy metal pollution in aquaculture: sources, impacts and mitigation techniques //Biological Trace Element Research. 2021. С. 1–17.
18. Yaashikaa P.R. et al. A review on bioremediation approach for heavy metal detoxification and accumulation in plants //Environmental Pollution.— 2022. С. 119035.

---

© Курбатов Сергей Андреевич ( mo-kurbatov@m-obvu.ru ),

Зубкова Валентина Михайловна ( vmzubkova@yandex.ru ), Гапоненко Альбина Вячеславовна ( gaponenkoav@rgsu.net ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ЗАВИСИМОСТЬ СРОКОВ ГЕНЕРАЦИИ ЖУКОВ-ЛИСТОЕДОВ ОТ СЕЗОННОЙ ЦИКЛИЧНОСТИ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

## THE DEPENDENCE OF LEAF BEETLES GENERATION TIME ON THE SEASONAL CYCLICITY OF PHENOLOGICAL PROCESSES IN THE SAMARA REGION

S. Pavlov  
A. Yaitsky  
F. Miniyarov

*Summary.* Article studies the phenological dependence of the generation time of 6 leaf beetles species (Coleoptera, Chrysomelidae) from environmental conditions in Samara region: *Oulema melanopus* (Linnaeus, 1758); *Timarcha tenebricosa* (Fabricius, 1775); *Chrysomela populi* Linnaeus, 1758; *Phyllotreta vittula* (Redtenbacher, 1849); *Hispa atra* Linnaeus, 1767; *Cassida rubiginosa* Müller, 1776. Observations of generation dates revealed that *Oulema melanopus* and *Phyllotreta vittula* belong to the early spring group, *Timarcha tenebricosa*, *Hispa atra* and *Cassida rubiginosa* to the late spring, while *Chrysomela populi* is an intermediate group. It was found that excessively low or high air temperature, sharp temperature fluctuations, excessive humidity of the environment and frequent changes in wind speed render a strong inhibitory effect on the development process and timing of the appearance of preimaginal stages of leaf beetles.

*Keywords:* leaf beetles, Coleoptera, Chrysomelidae, *Oulema melanopus* (Linnaeus, 1758), *Timarcha tenebricosa* (Fabricius, 1775), *Chrysomela populi* Linnaeus, 1758, *Phyllotreta vittula* (Redtenbacher, 1849), *Hispa atra* Linnaeus, 1767, *Cassida rubiginosa* Müller, 1776, phenology, Samara Region.

**Павлов Сергей Иванович**

К.б.н., доцент, ФГБОУ ВО «Самарский государственный социально-педагогический университет»  
pavlov@sgspsu.ru

**Яицкий Андрей Степанович**

Старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Самарский государственный социально-педагогический университет»  
yaitsky@sgspsu.ru

**Минияров Фарит Талгатович**

К.б.н., АНОО «Президентский лицей «Сириус»»  
fminiyarov@mail.ru

*Аннотация.* В статье рассматривается фенологическая зависимость сроков генерации 6 видов жуков-листоедов (Coleoptera, Chrysomelidae) Самарской области (пьявицы красногрудой (*Oulema melanopus* (Linnaeus, 1758)), тимархи чернотелкообразной (*Timarcha tenebricosa* (Fabricius, 1775)), листодея краснокрылого тополевого (*Chrysomela populi* Linnaeus, 1758), блошки хлебной полосатой (*Phyllotreta vittula* (Redtenbacher, 1849)), шипоноски чёрной (*Hispa atra* Linnaeus, 1767), щитоноски чертополоховой (*Cassida rubiginosa* Müller, 1776) от экологических условий среды. Определено, что по срокам генерации *Oulema melanopus* и *Phyllotreta vittula* относятся к ранневесенним; *Timarcha tenebricosa*, *Hispa atra* и *Cassida rubiginosa* — к поздневесенним; *Chrysomela populi* — к промежуточной группе. Выявлено, что очень низкие или слишком высокие значения температуры воздуха и их резкие колебания, избыточная влажность среды и частые изменения скорости ветра оказывают сильное тормозящее влияние на процесс развития и сроки появления преимагинальных стадий жуков-листоедов.

*Ключевые слова:* жуки-листоеды, Coleoptera, Chrysomelidae, пьявица красногрудая, *Oulema melanopus* (Linnaeus, 1758), тимарха чернотелкообразная, *Timarcha tenebricosa* (Fabricius, 1775), листодей краснокрылый тополевого, *Chrysomela populi* Linnaeus, 1758, блошка хлебная полосатая, *Phyllotreta vittula* (Redtenbacher, 1849), шипоноска чёрная, *Hispa atra* Linnaeus, 1767, щитоноска чертополоховая, *Cassida rubiginosa* Müller, 1776, фенология, Самарская область.

**С**удить о динамике фенологических процессов в регионе, смене сезонов в границах вегетационного цикла и пограничных аспектах можно, используя сочетание значений температурного фактора среды как ведущего [1] и этапов развития самых ярких и заметных объектов-индикаторов — растений и животных (в данном случае — насекомых).

*Целью* нашей работы явилось сопоставление во времени стандартных (средних многолетних) показателей местного климата и стадий развития 6 видов жуков-листоедов Самарской области.

В отличие от более мобильных птиц и млекопитающих, насекомые жёстко локализованы на конкретных,

иногда весьма ограниченных по площади участках, привязанных к мезо- и микрорельефу местности (корректирующему оптимум необходимых режимов температуры и влажности воздуха), почвам (создающим условия для развития основных кормовых растений) и предпочитаемым насекомыми фитоценозам.

Протяжённость Самарской области с севера на юг составляет 335 км, а с запада на восток — 315 км. В области выделяются *лесостепная* и *степная* природные зоны [2]. Климат Самарской области следует охарактеризовать как умеренно континентальный, с жарким сухим летом и малым, нестабильным количеством осадков (350–550 мм/год) [3]. Летние температуры воздуха возрастают с северо-запада, через центр, к юго-востоку примерно на 3–8 °С; соответственно, влажность воздуха убывает в том же направлении, в интервале — 60–45–30%.

Средняя многолетняя температура воздуха в Самарской области в марте (поры начала вегетации и генерации растений) составляет –4 °С, средняя температура апреля равна +6 °С, мая — около +15 °С. Начало фенологического лета приходится на конец второй декады июня. Средняя температура воздуха в июне составляет +20 °С, в июле — обычно +22 °С, в августе — около +18 °С [3].

Фенологическая осень в регионе начинается после понижения средней температуры воздуха ниже +15 °С. Средняя температура воздуха в сентябре обычно не превышает +12 °С, в октябре +5 °С (причем, в 1-ю декаду месяца днем температура может повышаться до +15 °С, не опускаясь ночью ниже +1...+4 °С). Разумеется, мы рассматриваем среднестатистические погодные параметры среды (без резких скачков — от крайне тёплых до очень холодных условий).

Среди библиографических источников по фенологии региона известны публикации К.П. Ланге, В.Е. Тимофеева [4], А.Н. Мельниченко [5], И.В. Пыльнова [6], Н.С. Щербиновского [7], рукописи и устные сообщения М.С. Горелова, К.П. Ланге, Л.С. Чиркова.

Реальное время деятельного существования энтомофауны (как индикатора смены фенологических аспектов среды) обычно продолжается с 3-й декады марта до 1-й декады октября, т.е. около 200 суток; хотя для примерно 60–65% видов насекомых сроки присутствия в активном состоянии ограничены более жёсткими рамками: с начала апреля до середины сентября, т.е. около 160 суток. Далее следует уход на зимовку или естественное отмирание животных.

Далее приводится фенологическая зависимость биологии насекомых с одногодичной (одним или двумя

поколениями за сезон) и двухгодичной генерациями; видов, существующих в центре и на краю ареалов, фоновых (вредители культурных растений и истребители сорняков) и редких реликтов.

Жуки пьявицы красногрудой *Oulema melanopus* (Linnaeus, 1758) (с одногодичной генерацией) появляются с зимовки 15–25 апреля (фаза выхода продолжается 7–20 дней) и расселяются по посевам яровых злаковых культур. Половое созревание имаго длится 6–12 суток, период всей яйцекладки растянут на 40–45 дней и приурочен ближе к окраинам полей и опушкам (экофонам, близким к зимовочным участкам). Плодовитость отдельной самки исчисляется 150–200 яиц за сезон. Эмбрион развивается в течение 12–14 суток.

Личинки выходят 10 (а в массе — 15) мая и встречаются до 10–15 июня (начала колошения культурных злаков). За 15–20 дней развития каждая проходит 4 возрастных стадии [8]. Затем (5 июля — 5 августа) они окукливаются в верхнем слое (2–4 см) почвы.

Через 13–15 суток отрождаются жуки нового поколения, которые, не выходя из почвы, зимуют до следующего года.

Сроки появления из мест зимовки краснокишечного вида [9] — тимархи чернотелкообразной *Timarcha tenebricosa* (Fabricius, 1775) (имеющего двухгодичную генерацию) — связаны с началом вегетации в Самарской области ксероморфной формы подмаренника настоящего [10]. В тёплые вёсны это регистрируется примерно 28 апреля, в прохладные — 7 мая. Массовый же выход имаго наблюдается всю 1-ю декаду месяца (когда среднесуточная температура воздуха обычно достигает +10...+12 °С).

После непродолжительной (в течение 3–6 часов) инсоляции, жуки приступают к питанию созревания (с целью подготовки к репродукции), через 10–14 суток (т.е. 18–24 числа) они переходят к стадии копуляции, а еще спустя 5–7 дней (23–31 мая) самки откладывают яйца. Суммарная плодовитость одной самки за сезон — около 40–60 яиц (по 7–12 шт. в 6–8 отдельных кладках).

Преимагинальное развитие тимархи крайне растянуто (даже при условии, что эмбрион внешне развит, для завершения формирования ему необходимы температуры ниже +5 °С), в связи с чем личинки из отложенных яиц появляются лишь в середине мая — начале июня следующего года. Отродившиеся личинки тимархи развиваются на растениях подмаренника открыто с мая до середины июля, в течение 40–50 суток, преодолев 4 возрастных фазы. В июне–июле личинки окукливаются в почве, на глубине 3–5 см. Жуки нового по-

коления (финал генерации особи) выходят примерно в начале августа (во 2–10 числах). Активная жизнь жуков тимархи чернотелкообразной самарской популяции продолжается в обычные годы до середины сентября (хотя в теплую осень 1980 г. несколько ползающих особей было отмечено 14 октября, при температуре воздуха +6...+8 °С). Значительная часть (до 80–85%) жуков *Timarcha tenebricosa* зимует в почве, на глубине 10–15 см.

Лёт жуков листоеда краснокрылого тополевого *Chrysomela populi* Linnaeus, 1758 (с одногодичной генерацией и двумя поколениями за сезон) наблюдается в апреле–мае, в момент активного распускания (примерно 25 апреля) листьев тополя, осины и ив. В течение 8–10 дней отмечается питание созревания вышедших с зимовки имаго. Спустя 7–12 дней самки откладывают яйца — по 120–150 шт. за сезон (в 5–15 кладках, по 10–30 шт. в каждой).

Отродившиеся через 12 суток личинки группируются сначала в плотные агрегации. Развитие их продолжается 2,5–4,0 недели. Личинки 3-го и 4-го возрастов расселяются в июне–июле в радиусе 1,5–2,5 м от «исходного очага» и окукливаются на листьях. Развитие куколки длится 4–10 дней.

Имаго 2-го поколения появляются в июле–августе и, после питания созревания (на 2–3 дня менее продолжительного, чем у перезимовавших жуков), копулируют и откладывают яйца. Личинки 2-го поколения окукливаются в конце августа. В сентябре (в 1–2-й декаде) из куколок выходят жуки, спускающиеся вниз и зимующие в подстилке близ кормовых деревьев.

Иными словами, в течение всего вегетационного периода на растениях можно одновременно наблюдать разные возрастные стадии тополевых листоедов обоих поколений [11, с. 214–215].

Блошка хлебная полосатая *Phyllotreta vittula* (Redtenbacher, 1849) (с одним поколением за сезон), выходит из мест зимовки в конце марта — начале апреля (при среднесуточных температурах воздуха +4...+7 °С). Первые 3 недели перезимовавшие жуки кормятся на диких злаках (пырее, мятлике, житняке) и озимой пшенице. В интервале времени от 18 апреля по 6 мая имаго (достигшие полового созревания) переселяются на поля яровой пшеницы, ячменя и кукурузы, где приступают к массовому размножению, продолжающемуся около 3 недель и «затухающему» примерно к 5–12 числам мая. Через 5–7 суток самки откладывают яйца в почву, на глубину 3 см (группами по 1–3 шт.). Продуктивность отдельной самки от 60–80 до 150–250 яиц за сезон, а сама фаза яйцекладки в популяции продол-

жается примерно 50 дней. Эмбрион развивается 5–8 суток.

Личинка проходит 4 возрастных стадии и окукливается в почве. Стадия куколки длится 13–15 суток. Жуки нового поколения появляются во 2-й половине лета. На зимовку они уходят обычно в 1-й декаде сентября. По данным А.Н. Мельниченко [5], они стремятся попасть ближе к границе древостоя, куда наматывает больше снега. Зимуют на межах полей, в лесополосах, на границах степных колков, под листовым опадом, часто на глубине до 40–60 см.

Шипоноска чёрная *Hispa atra* Linnaeus, 1767 (с одногодичной генерацией) обитает на северной кромке ареала, в связи с чем довольно редка в регионе (занесена в Красную книгу Самарской области [12]). Весной (7–10 мая) из мест зимовки (окаин лесополос и колков) имаго переселяются на дикие злаки (мятлик, житняк и овсяницу) лугов и степных участков. Стадия выхода продолжается 14–25 дней. В течение ещё 10–14 дней жуки кормятся, после чего (10–19 июня) приступают к спариванию (эта стадия репродукции длится 20–30 дней). Спустя 5–7 суток самка откладывает яйца (по одному в отдельную листовую «мину»). Эмбрион формируется 4–6 суток, а сам процесс яйцекладки занимает около 25 дней.

Личинка, преодолев 3 возраста и пробуравив в листе кормового растения канал длиной в 5 см, кормится около 20 суток и окукливается внутри своей «мины». Куколка развивается в течение 14–18 суток. Первые жуки нового поколения появляются в самом конце июня.

Жуки щитоноски чертополоховой *Cassida rubiginosa* Müller, 1776 выходят с зимовки в конце апреля и расселяются по опушкам, лугам, степным участкам и агроценозам, кормясь листьями бодяка, лопуха, осота. Через 4–5 дней интенсивного питания созревания, имаго приступают к спариванию, эта фаза репродукции в популяции продолжается почти 2 месяца. Яйцекладка длится с мая до конца июля (её пик приходится на первую треть этой фазы). Отдельная самка способна отложить до 150–220 яиц. Эмбрион завершает развитие спустя 4–6 суток.

Личинка, в зависимости от температуры среды, развивается от 12 до 17 суток, проходя 4 возрастных стадии и окукливаясь на нижней стороне листьев кормовых растений. Куколка развивается 12 суток. Первые жуки чертополоховой щитоноски нового поколения появляются в конце июня. Весь цикл генерации каждой отдельной особи завершается обычно за 30–32 дня. В середине августа нередки весьма крупные (до 600–850 особей) кормовые скопления вида.

В заключение следует отметить, что в Самарской области:

1. Сроки генерации жуков-листоедов распадаются на 3 группы: пъявица красногрудая (*Oulema melanopus*) и блошка хлебная полосатая (*Phyllotreta vittula*) относятся к *ранневесенним*; тимарха чернотелкообразная (*Timarcha tenebricosa*), шипоноска чёрная (*Hispa atra*) и щитоноска чертополоховая (*Cassida rubiginosa*) — к *поздневесенним*; краснокрылый

тополевый листоед (*Chrysomela populi*) формирует *промежуточную группу*, т.к. два его поколения встречаются в течение всего лета.

2. Очень низкие или слишком высокие значения температуры воздуха и их резкие колебания, избыточная влажность среды и частые изменения скорости ветра оказывают сильное тормозящее влияние на развитие и сроки появления тех или иных преимагинальных фаз жуков-листоедов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шарынин М.Э. Температурный фактор и активность энтомофауны в урбосреде // *Globularia: межвуз. сб. науч.-исслед. работ студентов*. Вып. 2 / отв. ред. А.А. Семенов. Самара: ПГСГА, 2015. С. 118–122.
2. Географическое краеведение Самарской области: учеб. пособие. В 2 ч. Часть первая: история и природа / под ред. М.Н. Барановой. Самара: Изд-во СГПУ, 2009. 108 с.
3. Климат Самарской области и его характеристики для климатозависимых отраслей экономики / Б.Г. Шерстюков и др. Самара: Приволжское УГМС; ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2006. 168 с.
4. Ланге К.П., Тимофеев В.Е. Методика наблюдений над сезонными явлениями природы. Куйбышев: КГПИ, 1972. 61 с.
5. Мельниченко А.Н. Полезащитные лесные полосы степного Заволжья и воздействие их на размножение животных, полезных и вредных для сельского хозяйства. М.: Изд-во Моск. об-ва испытателей природы, 1949. 360 с.
6. Пыльнов И.В. Членистоногие // *Природа Куйбышевской области*. Куйбышев: Куйбышевское обл. гос. изд-во, 1951. С. 309–362.
7. Щербиновский Н.С. Дневники самарской природы 1916 года. Самара, 1919. 146 с.
8. Павлов С.И., Яицкий А.С. Динамика плотности жуков-листоедов (Coleoptera, Chrysomelidae) в агроценозах злаковых культур Самарской области // *Самарский научный вестник*. 2018. Т. 7, № 2 (23). С. 94–102. DOI: 10.17816/snv201872119.
9. Павлов С.И., Кузовенко А.Е. Тимарха чернотелкообразная *Timarcha tenebricosa* (Fabricius, 1775) // *Красная книга Самарской области*. Т. 2. Редкие виды животных / под ред. С.В. Симака, А.Е. Кузовенко, С.А. Сачкова и А.И. Файзулина. Самара: Издательство Самарской государственной областной академии Наяновой, 2019. С. 115.
10. Павлов С.И., Хлопушина О.Б. Особенности экологии реликтового листоеда *Timarcha tenebricosa* F. в Среднем Поволжье и охрана его местообитаний // *Экология насекомых и их охрана: межвуз. сб. науч. тр.* Ульяновск: УГПИ, 1990. С. 92–103.
11. Харитонов Н.З. Лесная энтомология: учебник. Мн: Выш. шк., 1994. 412 с.
12. Павлов С.И. Шипоноска чёрная *Hispa atra* Linnaeus, 1767 // *Красная книга Самарской области*. Т. 2. Редкие виды животных / под ред. С.В. Симака, А.Е. Кузовенко, С.А. Сачкова и А.И. Файзулина. Самара: Издательство Самарской государственной областной академии Наяновой, 2019. С. 116.

© Павлов Сергей Иванович (pavlov@sgspsu.ru),

Яицкий Андрей Степанович (yaitsky@sgspsu.ru), Минияров Фарит Талгатович (fminiayarov@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВЛИЯНИЕ СОЕДИНЕНИЙ КРЕМНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ КУСТИСТОСТИ И ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ В РАСТЕНИЯХ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ

## THE EFFECT OF SILICON COMPOUNDS ON TILLERING AND DONOR-ACCEPTOR RELATIONS IN SPRING BARLEY PLANTS GROWING UNDER DIFFERENT MOISTURE CONDITIONS

I. Slastya

*Summary.* The effect of seed treatment with silicon compounds — tetraethoxysilane (TES) and sodium silicate on tillering and donor-acceptor relations in barley plants of two types of varieties was studied: recommended for cultivation in the central part of Russia (Zazersky 85 and Bios 1) and the Lower Volga region (Kamyshinsky 23, Donetsky 8 and Prairie). It has been established that seed treatment with silicon compounds had a positive effect on donor-acceptor relations in barley plants of both variety types, while the effect on total and productive bushiness of barley depended more on the characteristics of the variety and conditions of moisture availability than on seed treatment.

*Keywords:* silicon, seed treatment, spring barley, water stress, drought, tillering, productive bushiness, donor-acceptor relations.

**Сластя Ирина Васильевна**

К.с.-х.н., доцент, Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева  
slasty@rgau-msha.ru

*Аннотация.* Изучали действие обработки семян соединениями кремния — тетраэтоксисилоном (ТЭС) и силикатом натрия на показатели кустистости и донорно-акцепторные отношения в растениях ячменя двух сортов: рекомендованных для возделывания в средней полосе России (Зазерский 85 и Биос 1) и Нижневолжском регионе (Камышинский 23, Донецкий 8 и Прерия). Установлено, что обработка семян соединениями кремния оказывала положительное влияние на донорно-акцепторные отношения в растениях ячменя обоих сортов, при этом влияние на показатели общей и продуктивной кустистости ячменя в большей степени зависело от особенностей сорта и условий влагообеспеченности, чем от обработки семян.

*Ключевые слова:* кремний, обработка семян, яровой ячмень, водный стресс, засуха, продуктивная кустистость, донорно-акцепторные отношения.

## Введение

**И**нтерес к использованию соединений кремния для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур возник в первой половине двадцатого века сначала у японских исследователей [1], а впоследствии — и во всем мире, и до настоящего времени не ослабевает. Широкий интерес к кремнию связан с его положительным влиянием на рост, развитие, продуктивность, установленным для многих культур: зерновых [2–19], картофеля [19], овощных [20–22], злаковых трав [23] масличных [24], лекарственных [25], а также с его адаптогенным действием, способствующим повышению устойчивости растений к неблагоприятным факторам. Адаптогенные свойства помимо кремния присущи также селену, механизм действия которого связан с его антиоксидантной активностью [4, 6, 26], механизм же действия соединений кремния на растения остается до конца невыясненным. В последние годы растет число исследований, направленных на из-

учение природы и механизма действия кремнийсодержащих соединений на растения, установление причин высокой отзывчивости на их применение в условиях действия разнообразных стрессов — абиотических и биотических, таких как недостаток влаги [2, 3, 5, 7, 18, 23, 28, 30], недостаток питательных элементов [6], засоление почв [4, 7, 29, 30], недостаток освещенности [22], поражение болезнями и вредителями [1, 2, 11, 16, 22, 29–30].

Данные о повышении продуктивности растений при использовании кремниевых удобрений были впервые получены S. Yoshida [2]. Впоследствии было установлено, что эффективными являются также внесение кремния с поливной водой [7], обработка семенного материала [3, 4, 6, 9–16, 20, 30] и опрыскивание растений во время вегетации [13, 17, 21, 25, 29, 30], так как кремний может поступать в растения и через листья, например в форме силикатов [2], а также применение препаратов на основе наночастиц кремния [15, 22, 30].

Установлено положительное влияние кремнийсодержащих соединений на рост корневой системы и площади листовой поверхности растений [6, 8–10, 15, 17, 21, 27–29], реутилизацию питательных веществ [6], активность антиоксидантных ферментов [13, 22].

Некоторые авторы отмечали сортовые различия в отзывчивости исследуемых культур на применение соединений кремния [3, 12, 18, 22]. Сорты различались не только величиной прибавки урожая на применение разных соединений кремния, но и условиями вегетационных сезонов, в которых они были наибольшими, что свидетельствует о сложной связи между продуктивностью и факторами ее определяющими. Одними из таких факторов являются физиолого-биохимические и анатомо-морфологические особенности сортов, влияющие на формирование элементов продуктивности, одним из которых является продуктивная кустистость. В ряде исследований показано положительное действие кремния на величину продуктивных стеблей [5, 9, 11, 14], но вопрос о влиянии кремнийсодержащих соединений на соотношение показателей общей и продуктивной кустистости зерновых и связанные с ними донорно-акцепторные отношения в растениях, выращиваемых в разных условиях влагообеспеченности, является неизученным.

Целью данной работы является оценка влияния обработки семян соединениями кремния на показатели кустистости и донорно-акцепторные отношения в растениях ярового ячменя, выращиваемых в разных условиях влагообеспеченности.

## Материалы и методы исследований

Вегетационные опыты проводили в вегетационном домике РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в сосудах Митчерлиха, вмещающих 5,5 кг воздушно-сухой почвы, в четырехкратной повторности с сортами ярового ячменя Зазерский 85 и Биос 1, рекомендованных для возделывания в Нечерноземной зоне РФ. Почва — дерново-подзолистая среднесуглинистая ( $pH_{\text{сол.}}$  4,2; гидролитическая кислотность — 60 мг-экв/кг почвы; содержание подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) по Кирсанову — 92; обменного калия ( $K_2O$ ) по Масловой — 70 мг/кг почвы). В связи с высокой гидролитической кислотностью почвы проводили ее известкование. Доза извести ( $CaO$ ), определенная по величине гидролитической кислотности, составляла 9,2 г на сосуд. Минеральные удобрения вносили в дозах (г/кг почвы):  $N_{0,15}P_{0,15}K_{0,15}$ .

Водный стресс создавали прекращением полива растений в период образования у ячменя 7-го листа (фаза выхода в трубку, появление третьего междоузлия) и поддерживали его до приближения влажности

почвы к влажности устойчивого завядания, затем полив возобновляли. Таким образом, моделировали условия засухи Северного типа, характерного для Нечерноземной зоны РФ.

Мелкоделяночные полевые опыты проводили в Камышинском районе Волгоградской области — в естественных условиях длительно действующего на растения водного дефицита — зоне сухой степи на яровом ячмене сортов Камышинский 23, Донецкий 8 и Прерия, рекомендованных для возделывания в Нижневолжском регионе. Почва опытного участка — каштановая легкосуглинистая. Содержание легкогидролизующего азота по Тюрину и Кононовой — 46,0, подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) по Мачигину — 24, обменного калия ( $K_2O$ ) по Мачигину — 210 мг/кг почвы,  $pH_{\text{водн.}}$  — 6,7. Площадь делянки — 1 м<sup>2</sup>. Повторность опыта трехкратная. Минеральные удобрения вносили под весеннюю культивацию в дозах (кг/га):  $N30P30K30$ .

Семена перед посевом обрабатывали тетраэтоксисиланом (ТЭС) — этиловым эфиром ортокремниевой кислоты (органическая форма кремния) и силикатом натрия (неорганическая форма кремния) в концентрации 0,4%. Семена обрабатывали из расчета 1,2 мл раствора на 100 г семян (12 л/т). В контрольном варианте семена обрабатывали водой.

Оценку влияния соединений кремния на кустистость ячменя проводили по коэффициентам продуктивной ( $K_p$ ) и общей ( $K_o$ ) кустистости, представляющими собой соответственно среднее количество продуктивных и всех (продуктивных и непродуктивных) стеблей в расчете на одно растение, и соотношению между ними (доле продуктивных стеблей). Донорно-акцепторные отношения в растениях характеризовали по отношению массы зерна к массе соломы в конце вегетации растений.

## Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследований показали, что при выращивании в нормальных условиях влагообеспеченности (полива) в вегетационном опыте обработка семян соединениями кремния в годы исследований не оказывала влияния на продуктивную кустистость, но способствовала незначительному росту общей кустистости ячменя сорта Зазерский 85, за счет чего доля продуктивных стеблей в среднем за три года несколько снижалась (табл. 1). При этом отношение массы зерна к массе соломы в вариантах с соединениями кремния оставалось на уровне контроля (табл. 3) за счет увеличения биомассы зерна: при обработке ТЭС — на 10,3%, силикатом натрия — 11,4% в среднем за три года, что свидетельствует

Таблица 1. Влияние обработки семян ячменя сортов Зазерский 85 и Биос 1 соединениями кремния на общую и продуктивную кустистость в условиях полива (вегетационный опыт)

Вариант	Коэффициенты продуктивной (Кп) и общей (Ко) кустистости								Кп: Ко
	Кп		Ко		Кп		Ко		
	2005 г.		2006 г.		2007 г.		Среднее		
<b>Зазерский 85</b>									
Контроль	1,05	1,86	1,16	2,11	1,12	1,95	1,11	1,97	0,56
ТЭС	1,00	1,92	1,15	2,30	1,10	2,08	1,08	2,10	0,51
Силикат натрия	1,10	1,98	1,22	2,28	1,12	2,06	1,15	2,11	0,54
<b>Биос 1</b>									
Контроль	1,18	1,96	1,28	2,25	1,22	2,08	1,23	2,10	0,58
ТЭС	1,15	1,88	1,25	2,11	1,18	1,92	1,19	1,97	0,60
Силикат натрия	1,12	1,90	1,16	2,15	1,08	1,97	1,12	2,01	0,56
НСР <sub>0,95</sub> ч.р.	-	-	0,10	0,14	0,14	0,15			

Таблица 2. Влияние обработки семян ячменя сортов Зазерский 85 и Биос 1 соединениями кремния на общую и продуктивную кустистость растений в условиях водного стресса (вегетационный опыт)

Вариант	Коэффициенты продуктивной (Кп) и общей (Ко) кустистости						Кп: Ко
	Кп		Ко		Кп		
	2006 г.		2007 г.		Среднее		
<b>Зазерский 85</b>							
Контроль	1,29	2,42	1,25	2,33	1,27	2,38	0,53
ТЭС	1,42	2,64	1,38	2,52	1,40	2,58	0,54
Силикат натрия	1,40	2,64	1,33	2,48	1,36	2,56	0,53
<b>Биос 1</b>							
Контроль	1,52	2,68	1,40	2,40	1,46	2,54	0,57
ТЭС	1,58	2,56	1,45	2,28	1,52	2,42	0,63
Силикат натрия	1,49	2,60	1,35	2,32	1,42	2,46	0,58
НСР <sub>0,95</sub> ч.р.	0,09	0,16	0,12	0,18			

о положительном влиянии обработки на перераспределение пластических веществ из соломы в зерно.

У сорта Биос 1 применение ТЭС в нормальных условиях влагообеспеченности не оказало значительного влияния на общую и продуктивную кустистость, наблюдалась лишь тенденция к снижению общей кустистости, в результате чего доля продуктивных стеблей в среднем за три года несколько увеличилась, наблюдалось и увеличение отношения массы зерна к массе соломы (табл. 1, 3). Прибавка биомассы зерна по отношению к контролю в среднем за годы исследований составила 11,9%. Применение силиката натрия способствовало снижению продуктивной кустистости, при этом средняя прибавка урожая зерна в годы исследований составила 15,7%, но была получена, главным образом, за счет увеличения массы 1000 зерен и массы зерна с колоса при возрастании отношения массы зерна к массе соломы. Таким образом, применение обеих форм кремния

на сорте Биос 1 приводило к увеличению доли хозяйственно ценной части урожая (табл. 3).

Водный стресс способствовал значительному снижению биомассы зерна у обоих сортов: сорта Зазерский 85 в среднем за два года исследований на 46,4%, сорта Биос 1 — на 50,4%. При этом у обоих сортов увеличивалась общая кустистость (табл. 2), что может быть объяснено компенсаторными реакциями растений и формированием подгона при возобновлении полива после периода засухи. Это приводило к увеличению биомассы соломы в структуре урожая. В среднем за годы исследований у сорта Зазерский 85 масса соломы увеличилась на 11,8%, у сорта Биос 1 — на 9,9%, что более чем в 2 раза снизило долю зерна в общей биопроductивности (табл. 3).

Несмотря на близкое по величине снижение урожая зерна под влиянием засухи у двух сортов, влияние

Таблица 3. Влияние обработки семян ячменя сортов Зазерский 85 и Биос 1 соединениями кремния на отношение массы зерна к массе соломы в разных условиях влагообеспеченности (вегетационный опыт)

Вариант	Полив			Засуха	
	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2006 г.	2007 г.
<b>Зазерский 85</b>					
Контроль	0,64	0,69	0,80	0,37	0,31
ТЭС	0,63	0,70	0,77	0,41	0,32
Силикат натрия	0,66	0,72	0,79	0,45	0,34
<b>Биос 1</b>					
Контроль	0,62	0,71	0,69	0,31	0,34
ТЭС	0,76	0,83	0,79	0,34	0,37
Силикат натрия	0,77	0,87	0,81	0,37	0,37
НСР <sub>0,95</sub> ч.р.	0,04	0,05	0,08	0,04	0,05

Таблица 4. Влияние обработки семян разных сортов ячменя соединениями кремния на общую и продуктивную кустистость растений в условиях сухой степи Нижнего Поволжья (мелкоделяночный полевой опыт)

Вариант	Коэффициенты продуктивной (Кп) и общей (Ко) кустистости								Кп: Ко
	Кп	Ко	Кп	Ко	Кп	Ко	Кп	Ко	
	2005 г.		2006 г.		2007 г.		Среднее		
<b>Камышинский 23</b>									
Контроль	1,96	2,60	2,45	4,63	2,74	4,08	2,38	3,77	0,63
ТЭС	1,86	2,51	2,42	4,26	2,61	3,83	2,30	3,53	0,65
Силикат натрия	2,05	2,48	2,68	4,34	2,92	3,92	2,55	3,58	0,71
<b>Донецкий 8</b>									
Контроль	2,11	2,67	2,40	3,37	2,48	3,32	2,33	3,12	0,75
ТЭС	2,20	2,70	2,55	3,58	2,63	3,53	2,46	3,27	0,75
Силикат натрия	2,25	2,69	2,65	3,64	2,60	3,45	2,50	3,26	0,77
<b>Прерия</b>									
Контроль	1,94	2,60	2,43	3,49	2,52	3,54	2,30	3,21	0,72
ТЭС	1,81	2,35	2,35	3,45	2,45	3,42	2,20	3,07	0,72
Силикат натрия	1,63	2,04	2,22	3,36	2,39	3,24	2,08	2,88	0,72
НСР <sub>0,95</sub> ч.р.	0,17	0,20	-	-	-	-			

соединений кремния на показатели кустистости у них различалось. У сорта Зазерский 85 обработка семян обоими веществами приводила к увеличению и общей, и продуктивной кустистости, а у сорта Биос 1 — существенно не влияла на них. Прибавки урожая зерна в среднем за годы исследований у сорта Зазерский 85 при обработке ТЭС составили 15,7%, при обработке силикатом натрия — 20,8%, на сорте Биос 1 — соответственно 15,1 и 17,4%. У обоих сортов в вариантах с применением соединений кремния увеличивалось отношение биомассы зерна к биомассе соломы при сравнении с контролем.

Исследования с сортами ячменя степного сортотипа, проведенные в условиях сухой степи Нижнего По-

волжья, показали, что сорта различались диапазоном показателей кустистости в годы исследований (табл. 4). Наибольшей вариабельностью отличался сорт Камышинский 23, у которого коэффициенты продуктивной кустистости различались в 1,4 раза, общей — в 1,8 раза. Максимальные значения показателей кустистости были в наиболее влажном 2006 году, когда значительная часть осадков выпала в период кущения ячменя.

Большой потенциал кустистости сорта, реализующийся во влажные годы, может обеспечить более высокие прибавки урожая, связанные с увеличением числа продуктивных стеблей, но сорт является и более уязвимым в годы, когда после достаточного количества осадков в период кущения наступают засушливые условия,

Таблица 5. Влияние обработки семян ячменя разных сортов соединениями кремния на отношение массы зерна к массе соломы в условиях сухой степи Нижнего Поволжья (мелкоделяночный полевой опыт)

Вариант	2005 г.	2006 г.	2007 г.
<b>Камышинский 23</b>			
Контроль	0,82	0,58	0,38
ТЭС	0,75	0,58	0,39
Силикат натрия	0,84	0,62	0,41
<b>Донецкий 8</b>			
Контроль	0,94	0,72	0,49
ТЭС	0,93	0,74	0,50
Силикат натрия	0,98	0,76	0,51
<b>Прерия</b>			
Контроль	0,77	0,56	0,42
ТЭС	0,83	0,52	0,44
Силикат натрия	0,86	0,63	0,46
НСР <sub>0,95</sub> ч.р.	0,04	0,04	0,03

и растения испытывают большую потребность во влаге в связи с большей вегетативной массой. Засуха вызывает напряжение донорно-акцепторных отношений в растениях, замедляя отток ассимилянтов в зерно, что находит отражение в изменении отношения массы зерна к массе соломы. Наибольшим у всех сортов оно было в умеренно засушливом 2005 году (табл. 5), когда количество осадков в период кущения было меньшим, чем в другие годы исследований, что привело к меньшей кустистости растений, но в целом за вегетационный сезон оно было достаточным для формирования зерна.

Вегетационный сезон 2007 года был самым неблагоприятным: раскутившиеся растения страдали от наступившей в середине мая сильной и длительной засухи, что привело к снижению урожайности и значительному уменьшению доли зерна в общей продуктивности. Урожайность сортов Камышинский 23, Донецкий 8 и Прерия составляла в 2007 году соответственно 14,1; 14,8 и 15,2 ц/га в контрольном варианте. Во влажном 2006 году максимальная продуктивность была у сорта с наибольшими показателями кустистости — Камышинский 23—49,2 ц/га в контрольном варианте, что превышало урожайность 2007 года в 3,5 раза. Урожайность сортов Донецкий 8 и Прерия во влажном году также была выше, чем в другие годы — 47,7 и 42,2 ц/га соответственно. Но так как в этом году у всех сортов была наибольшей и биомасса соломы, то доля хозяйственно ценной части продукции — зерна оказалась значительно ниже, чем в 2005 году (табл. 5), но при этом она была значительно выше, чем в 2007 году, что говорит о значительной роли донорно-акцепторных отношений в формировании зерновой продуктивности.

При обработке семян ТЭС наблюдалась тенденция к снижению общей и продуктивной кустистости у сортов Камышинский 23 и Прерия и, наоборот — повышению — у сорта Донецкий 8. Прибавки урожая в среднем три года составляли: у сорта Донецкий 8—12,9%, Прерия — 9,9%. У сорта Камышинский 23 достоверная прибавка урожая была получена только в 2007 году — 10,6% по отношению к контролю. Обработка не оказала значительного влияния на соотношения зерна и соломы.

Обработка семян силикатом натрия также по-разному влияла на кустистость сортов, у сорта Камышинский 23 увеличивая продуктивную кустистость, а у сорта Прерия снижая ее. У обоих сортов при этом наблюдалось снижение общей кустистости, в результате чего доля продуктивных стеблей у сорта Камышинский 23 выросла с 0,63 до 0,71. Зерновая продуктивность при этом выросла в среднем за годы исследований у сорта Камышинский 23 на 15,4%, Донецкий 8—12,5%, Прерия —11,0% по отношению к контролю. Обработка способствовала увеличению отношения массы зерна к массе соломы, особенно у сорта Прерия.

Таким образом, результаты исследований показали, что обработка семян соединениями кремния оказывала положительное влияние на донорно-акцепторные отношения в растениях ячменя разных сортов двух сорто-типов при выращивании в разных условиях влагообеспеченности, при этом влияние на показатели общей и продуктивной кустистости ячменя в большей степени зависело от особенностей сорта и условий влагообеспеченности, чем от обработки семян.

## Закключение

В результате исследований установлено, что обработка семян соединениями кремния может приводить как к увеличению, так и к уменьшению общей и продуктивной кустистости, при выращивании, как в нормальных условиях влагообеспеченности, так и в условиях водного дефицита, что определяется особенностями возделываемого сорта. Засуха способствовала увеличению общей и продуктивной кустистости ячменя сортов Зазерский 85 и Биос 1, главным образом за счет подгона, что связано с компенсаторными реакциями растений на водный стресс. Прибавки урожая зерна не всегда были связаны с ростом продуктивной кустистости, что отмечалось у сорта Биос 1 в нормальных условиях влагообеспеченности, когда применение силиката на-

трия снижало продуктивную кустистость, прибавки урожая получены за счет других элементов продуктивности. В условиях водного дефицита применение ТЭС и силиката натрия оказывало положительное влияние на донорно-акцепторные отношения в растениях ячменя сортов Зазерский 85 и Биос 1, а в нормальных условиях влагообеспеченности — только сорта Биос 1, при этом действие силиката натрия было выражено сильнее. У трех сортов степного сортотипа только обработка силикатом натрия приводила к увеличению доли зерна в общей биопродуктивности. Положительное влияние соединений кремния на донорно-акцепторные отношения способствовало не только увеличению доли хозяйственно ценной части урожая, но и снижению негативного действия на растения водного стресса и повышению урожайности ячменя.

## ЛИТЕРАТУРА

- Miyake Y., Ikeda M. Influence of silica application on rice blast // *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 1932. № 6. P. 53–76.
- Алешин Н.Е. О биологической роли кремния у риса // *Вестн. с.-х. науки.* 1988. Т. 10. С. 77–85.
- Баранов А.В., Серегина И.И. Влияние обработки семян кремнием на продуктивность яровой пшеницы в условиях дефицита влаги в почве // *Бюлл. ГНУ ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова. М., 2005.* С. 135–136.
- Верничко И.В. Влияние предпосевной обработки семян пшеницы и тритикале соединениями селена, кремния и цинка на поглощение растениями меченого <sup>15</sup>N нитратного азота в стрессовых условиях выращивания / И.В. Верничко, Л.В. Осипова, П.А. Яковлев, И.А. Быковская, В.А. Литвинский // *Агрехимия.* 2017. № 3. С. 10–19.
- Зейслер Н.А. Влияние кремнийорганических регуляторов роста на продуктивность овса посевного // *Science Time.* 2016. № 1(25). С. 164–169.
- Курносова Т.Л. Влияние биогенных элементов на донорно-акцепторные отношения в растениях ячменя (*Hordeum Vulgare L.*) в различных условиях выращивания / Т.Л. Курносова, Л.В. Осипова, И.В. Верничко, Л.В. Ромодина, И.А. Быковская // *Проблемы агрохимии и экологии.* 2019. № 1. С. 14–20.
- Матыченков В.В., Кособрюхов А.А., Шабнова Н.И., Бочаникова Е.А. Реакция растений на кремниевые удобрения при засолении почвы // *Агрехимия.* 2005. № 10. С. 59–63.
- Матыченков В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва–растение: автореф. дис. . . д-ра биол. наук. Пушино, 2008. 34 с.
- Мнатсакяня А.А. Урожайность и биометрические показатели озимой пшеницы в зависимости от препарата на основе кремния // *Плодородие.* 2020. № 4 (115). С. 44–47.
- Серегина И.И., Ниловская Н.Т., Баранов А.В. Продуктивность, фотосинтетическая деятельность и донорно-акцепторные отношения растений яровой пшеницы при применении силиката калия // *Агрехимия.* 2014. № 4. С. 60–69.
- Сластя И.В., Дорожкина Л.А., Беденко Г.В. Использование ТЭС для повышения экологической безопасности применения пестицидов при протравливании семян ячменя // *Агро XXI.* 1998. № 9. С. 10–11.
- Сластя И.В. Оценка отзывчивости различных сортов ячменя на обработку кремнийсодержащими веществами // *Доклады ТСХА.* 2006. № 278. С. 676–680.
- Самсонова Н.Е., Капустина М.В., Зайцева З.Ф. Влияние соединений кремния и минеральных удобрений на урожайность яровых зерновых культур и содержание в них антиоксидантных ферментов // *Агрехимия.* 2013. № 10. С. 66–74.
- Самсонова Н.Е., Козлов Ю.В., Зайцева З.Ф., Шупинская И.А. Эффективность соединений кремния при обработке семян и растений кукурузы (*Zea Mays L.*) // *Агрехимия.* 2017. № 1. С. 12–18.
- Хорошилов А.А., Павловская Н.Е., Бородин Д.Б., Яковлев И.В. Фотосинтетическая продуктивность и структура урожая яровой пшеницы под влиянием нанокремния в сравнении с биологическим и химическим препаратами // *Сельскохозяйственная биология.* 2021. Т. 56. № 3. С. 487–499.
- Шмакова Н.В. Эффективность применения соединений кремния и их смесей с фунгицидами на яровой пшенице в Среднем Предуралье: дис. . . канд. с.-х. наук. Москва, 2003. 151 с.
- Шупинская И.А., Самсонова Н.Е., Антонова Н.А. Влияние корневого и фолиарного питания растений минеральными удобрениями и соединениями кремния на показатели фотосинтетической деятельности и урожайность зерна яровой пшеницы // *Агрехимия.* 2017. № 2. С. 11–18.
- Прусакова Л.Д. Антистрессовые функции экоста и эпибрасинолида на яровой пшенице в условиях центральной нечерноземной зоны / Л.Д. Прусакова, С.И. Чижов, Н.Н. Третьяков, Л.Ф. Агеева, Е.Н. Голанцева, А.Ф. Яковлев // *Аграрная Россия.* 1999. № 1. С. 39–41.
- Козлов А.В., Уромова И.П., Куликова А.Х. Влияние кремнийсодержащих стимуляторов роста на биологическую продуктивность и показатели качества озимой пшеницы и картофеля // *Вестник Минского университета.* 2016. № 1–1(13). С. 31.

20. Сармосова А.Н. Эффективность использования новых биологически активных веществ на белокочанной капусте // Инновации молодых ученых — сельскому хозяйству: мат. всерос. конф. / М., 2006. Ч. 1. С. 243–247.
21. Ермаков Е.И., Мухоморов В.К. Антистрессовое воздействие кремнийсодержащего хелатного микроудобрения на растения при некорневой обработке в защищенном грунте // Гавриш. 2001. № 3. С. 16–18.
22. Удалова Ж.В., Зиновьева С.В. Влияние наночастиц кремния на активность антиоксидантных ферментов в корнях томатов при инвазии галловой нематодой *Meloidogone Incognita* (Kofoid et White, 1919) Chitwood, 1949 // Доклады российской академии наук. Науки о жизни. 2022. Т. 506. № 1. С. 349–353.
23. Eneji E. Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers / E. Eneji, S. Inanaga, S. Muranaka, J. Li, T. Hattori, P. An, W. Tsuji // J. Plant Nutr. 2008. 31(2). P. 355–365.
24. Сафронкин А.Е. Приемы возделывания рыжика озимого (*Camelina Sp.*) в лесостепи Среднего Поволжья: дис. ... канд. с.-х. наук. Пенза, 2016. 135 с.
25. Пушкина Г.П., Сидельников Н.И. Роль кремния в повышении биопродуктивности и адаптации лекарственных культур к засушливым погодным условиям // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2016. № 12. С. 249–252.
26. Серегина И.И., Верниченко И.В., Ниловская Н.Т., Шумилин А.О. Продуктивность и устойчивость яровой пшеницы в условиях окислительного стресса при применении селена // Агрохимия. 2015. № 3. С. 56–63.
27. Ермолаев А.А. Кремний в сельском хозяйстве. М: Линф, 1992. 256 с.
28. Лось С.Л., Борздыко Е.В., Анищенко Л.Н., Прохоренко Ф.В. Устойчивость культурных растений к биотическим стрессам в условиях модельного использования препарата «Ковелос» // Applied and Fundamental Studies: Proceedings of the 13th International Academic Conference / St. Louis, 2017. С.11–18.
29. Chanchal M.C.H., RitiThapar K., Deepak G. Alleviation of abiotic and biotic stresses in plants by silicon supplementation // Sci. Agricult. 2016. V. 13. № 2. P. 59–73.
30. Wang L., Ning C., Pan T., Kunzheng Cai K. Role of Silica Nanoparticles in Abiotic and Biotic Stress Tolerance in Plants: A Review // Int. J. Mol. Sci. 2022. 23. 1947.

© Сластя Ирина Васильевна (slasty@rgau-msha.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева

# О ВЛИЯНИИ НЕКОТОРЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЫХАНИЯ ПЛОСКОЙ УСТРИЦЫ (*OSTREA EDULIS L.*)

**Сытник Наталья Александровна**

Доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный  
Морской технологический университет»  
amtek-kerch@mail.ru;

## THE INFLUENCE OF SOME ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE RESPIRATORY RATE OF THE FLAT OYSTER (*OSTREA EDULIS L.*)

**N. Sytnik**

*Summary.* Quantitative regularities of flat oyster respiration rate depending on a number of ecological factors have been investigated. The relationship between the rate of oxygen consumption by mollusks and their body weight has been described mathematically. The influence of water salinity and temperature on the rate of mollusk respiration in the Kerch Strait and Donuzlav estuary was studied.

*Keywords:* flat oyster, temperature, salinity, respiration rate, Donuzlav estuary, Kerch Strait.

*Аннотация.* Исследованы количественные закономерности интенсивности дыхания плоской устрицы в зависимости от ряда экологических факторов. Математически описана связь скорости потребления кислорода моллюсками с их массой тела. Изучено влияние солености и температуры воды на интенсивность дыхания моллюсков в Керченском проливе и лимане Донузлав.

*Ключевые слова:* плоская устрица, температура, соленость, интенсивность дыхания, лиман Донузлав, Керченский пролив.

### Введение

**В**торая половина XX-го столетия ознаменовалась весьма существенной трансформацией экосистемы Черного моря, связанной, в первую очередь, с интенсификацией хозяйственной деятельности в этом регионе. Одним из наиболее ценных представителей черноморской малакофауны, в значительной степени потерявшей свое промысловое значение, являлась плоская (европейская или грядовая) устрица — *Ostrea edulis* L [1, 2]. Вследствие загрязнения прибрежных вод токсикантами, эвтрофикации и возникшего на этом фоне грибкового заболевания (болезнь раковины) во второй половине XX-го века произошло резкое сокращение численности и ареала этого [3, 4, 6], и в настоящее время этот вид представлен лишь отдельными микропопуляциями у побережья Крыма и Кавказа. В связи с этим и возникла необходимость искусственного воспроизводства этого вида [2, 5, 7, 8], которое возможно лишь при условии детального знания различных сторон жизнедеятельности этого вида.

### Цель исследований

Изучение влияния ряда экологических факторов (масса тела, температура, соленость воды) на интенсивность дыхания черноморской устрицы.

### Материалы и методы исследований

Объектом исследования служили разновозрастные особи плоской устрицы (*ostrea edulis* L), высотой 7–82 мм, массой 0,015–72,7 г. Исследования проводились на протяжении 2004–2011 гг. в лимане Донузлав (западное побережье Крыма) Черного моря и Керченском проливе. Сбор проб моллюсков осуществлялся на протяжении круглого года, кроме зимних сезонов года.

### Результаты исследований

Одним из наиболее важных свойств, присущих живым организмам, является обмен веществ (метаболизм), основой которого является два потока реакций, протекающих у животных — анаболических (процессы ассимиляции, биосинтеза, пластического или конструктивного обмена) и противоположно направленных — катаболических (процессы диссимиляции или энергетического обмена) [9, 10, 11].

В результате пластических реакций, поступающие с пищей крупные органические вещества расщепляются на более простые соединения и окисляются, что в большинстве своем, сопровождается выделением свободной энергии, которая запасается в форме ма-

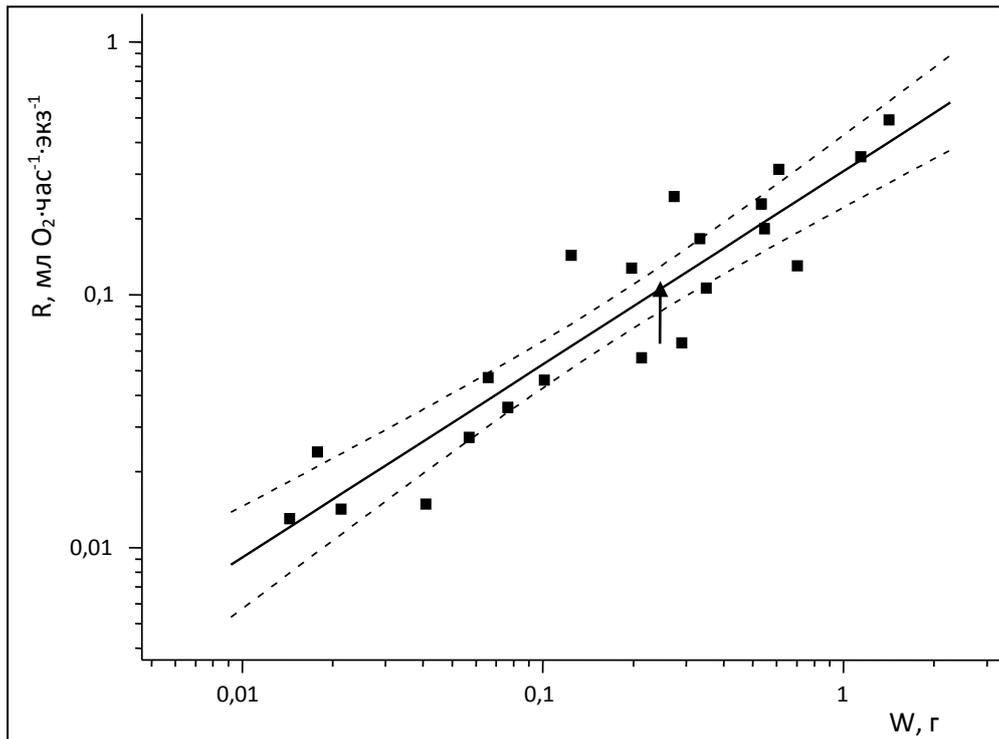


Рис. 1. Зависимость скорости потребления кислорода ( $R$ , мл  $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$ ) устрицами в зависимости от сухой массы тела ( $W$ , г) в лимане Донузлав ( $T = 18^\circ\text{C}$ ,  $S = 17,6\text{‰}$ , штриховые линии — 95% доверительный интервал)

кроэнергетических связей аденозинтрифосфата (АТФ) и используется для осуществления различных видов работы (химической, механической, осмотической). Процессы энергетического обмена, в основном, включают в себя восстановительные реакции, идущие с затратой энергии, в свою очередь полученной в ходе катаболических реакций.

Обобщенной характеристикой катаболических процессов, в ходе которых энергия пищи используется для осуществления процессов жизнедеятельности, является скорость потребления кислорода [9, 11, 12]. Она является важнейшим компонентом энергетического баланса организма, отражая его расходную часть, указывает на изменения физиологического состояния под влиянием различных экологических факторов среды; т.е. служит показателем изменений условий обитания, характеризует видовую скорость обмена веществ животных разного таксономического ранга [9, 10, 11, 12, 13]. В этой связи нами была изучена скорость потребления кислорода (СПК) устрицами при разных температурных и соленостных условиях.

Изучение СПК моллюсками в зависимости от массы тела в Керченском проливе и лимане Донузлав в разные сезоны года показало (рис. 1), что, как и у других

видов двустворчатых моллюсков [9, 14–16] эти показатели тесно связаны между собой и хорошо аппроксимируются степенной функцией:  $R = R_1 W^k$ , где  $R$  — скорость потребления кислорода, мл  $O_2 \cdot \text{экз.}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$ ;  $w$  — сухая масса тела (без раковины), г;  $R_1$  — коэффициент пропорциональности, численно равный СПК при  $W$ , равном 1 г;  $k$  — коэффициент регрессии, характеризующий удельную скорость изменения дыхания устриц при изменении массы тела.

Параметры уравнения, выражающего зависимость между СПК и сухой массой тела (без створки) в указанных выше районах в разные сезоны года и, соответственно, при разной температуре воды приведены в таблице 1.

Из приведенных данных видно, что независимо от экологических условий района СПК устрицами заметно изменяется в зависимости от температуры воды. Наиболее низкая интенсивность дыхания (коэффициент  $R_1$ ) моллюсков зарегистрирована при  $6^\circ\text{C}$ , с повышением температуры воды наблюдалось устойчивое возрастание его значений.

При анализе полученных данных большое значение имеет вопрос об оптимуме жизнедеятельности для ис-

Таблица. 1. Параметры уравнения, характеризующего СПК ( $R$ ) устриц в зависимости от сухой массы тела ( $W$ ) в Керченском проливе ( $S = 14,1-15,2\%$ ) и лимане Донузлав ( $S = 17,1-17,9\%$ ) \*

Период работ, (Т, °С)	N	$W_c$	$R_l$	$S_r$	k	$S_k$	r
<b>Керченский пролив</b>							
декабрь (6)	22	0,016–1,18	0,112	0,016	0,617	0,082	0,909
апрель (13)	22	0,014–1,43	0,320	0,040	0,813	0,076	0,926
июнь (19)	24	0,022–1,35	0,475	0,095	0,721	0,084	0,888
<b>Лиман Донузлав</b>							
ноябрь (11)	19	0,018–1,13	0,291	0,031	0,773	0,078	0,927
май (18)	21	0,023–1,39	0,491	0,072	0,688	0,083	0,895
август (23)	20	0,040–1,28	0,725	0,067	0,737	0,100	0,850

\*N — число особей в опыте, W — пределы индивидуальной массы моллюсков в опыте,  $S_y$  — стандартная ошибка  $R_l$ ,  $S_x$  — стандартная ошибка k; r — коэффициент корреляции.

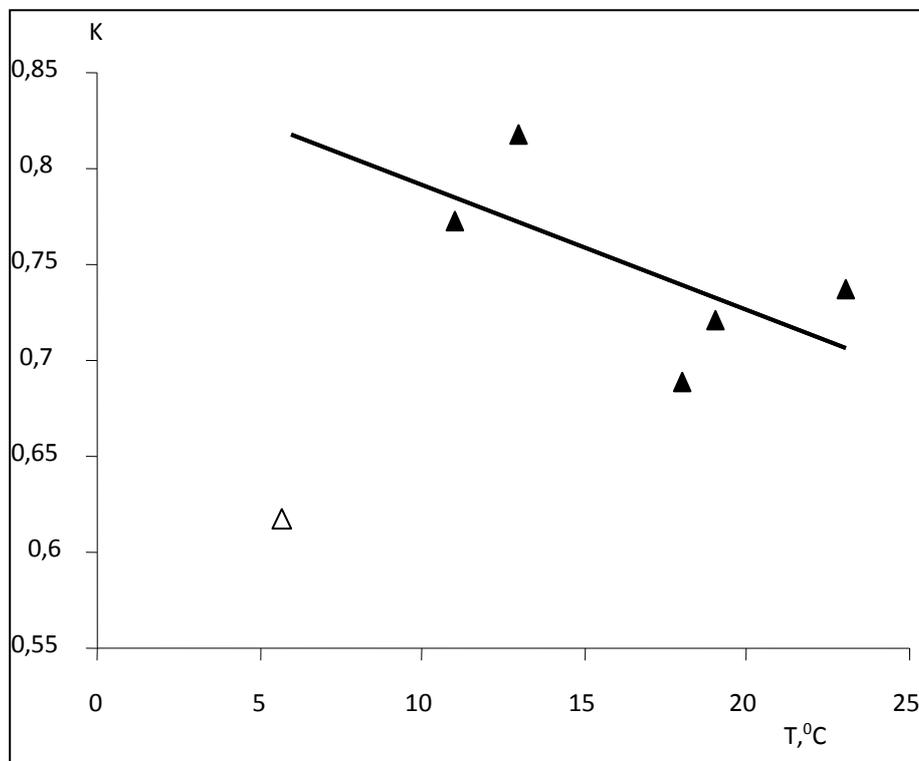


Рис. 2. Изменение коэффициента регрессии ( $k$ ) в зависимости от температуры воды (Т, °С)

следованного вида. Максимальный прогрев воды наблюдается в августе и достигает в отдельные годы 28 °С. В мелководных прибрежных акваториях, с глубинами менее 0,5 м, где прогрев заметно выше, температура может достигать 30 °С. Однако на этих участках, как правило, устрицы не образуют скоплений, поэтому, скорее всего, температура около 23–25 °С для этого вида близка к оптимальной.

Обращает на себя внимание заметное варьирование коэффициента регрессии  $k$ , значение которого заметно

отличается от величины 0,73, определенной А.Ф. Алимовым [10] для морских двусторчатых моллюсков, а также 0,75, и приведенной в сводке Хеммингсена [17] для всех пойкилотермных животных.

Причины, вызывающие изменения параметра  $k$  неоднократно обсуждались в литературе [18, 19]. Их связывают с малым диапазоном масс экспериментальных животных, продолжительностью акклимации, и другими трудно учитываемыми или вовсе не учитываемыми факторами.

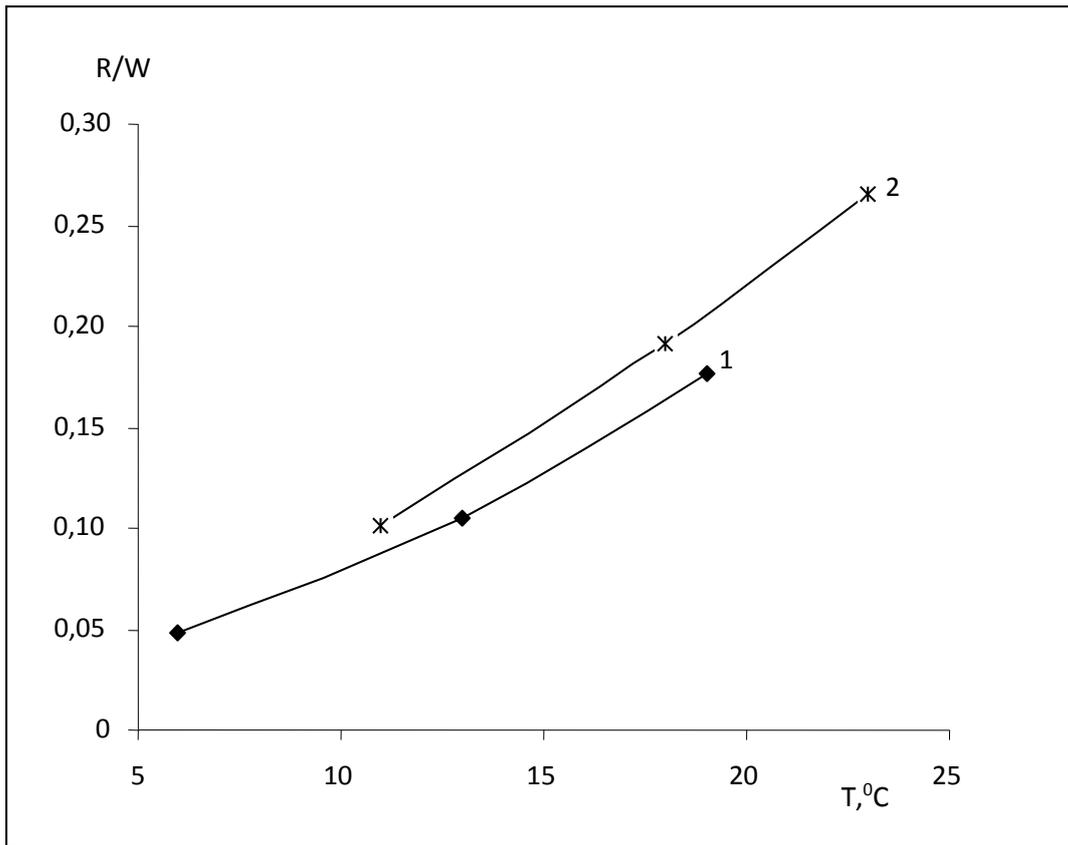


Рис. 3. Изменение интенсивности дыхания моллюсков ( $R/W$ , мл  $O_2 \cdot \text{час}^{-1} (0,255) \cdot \text{г}^{-1}$ ) в Керченском проливе (1) и лимана Донузлав (2) при разной температуре ( $T, ^\circ\text{C}$ ) и солености воды ( $S, \text{‰}$ )

В наших опытах указанные факторы не могли оказать существенного влияния на величину коэффициента регрессии. Диапазон массы тела опытных животных был достаточно велик — минимальные и максимальные их значения различались между собой в 70–100 раз. Малый срок акклимации моллюсков к экспериментальной температуре также не мог быть определяющим фактором — опыты с устрицами проводили при температуре воды соответствующей естественной среде обитания.

Вместе с тем, известно, что у эктотермов часто наблюдается обратная связь между значениями коэффициентов  $R_i$  и  $k$ , т.е. возрастание метаболизма сопровождается уменьшением коэффициента регрессии (правило Локера) [19]. Анализ наших данных показал, что по мере возрастания температуры воды наблюдается заметная тенденция снижения значений коэффициента  $k$  (рис. 2), что можно интерпретировать как подтверждение указанного правила.

В то же время на рис. 2 видно, что при  $6^\circ\text{C}$  значение коэффициента  $k$  заметно отклоняется от общего тренда. Возможно, это связано с тем, что температура  $6^\circ\text{C}$  выходит за пределы биокинетической зоны исследуемого вида [20–26].

В частности, известно, что такой биологически важный процесс как рост у данного вида устриц только начинается при температуре 11–12  $^\circ\text{C}$ , т.е. значительно более высокой, чем температура  $6^\circ\text{C}$ . Вероятно, что при этой температуре обменные процессы у крупных моллюсков замедлены в большей степени, чем у более мелких животных, особенно принимая во внимание разное соотношение их поверхности и объема [19].

О том, что в пограничных условиях могут иметь место своеобразные «краевые эффекты», что ранее уже отмечалось в литературе [27, 28].

Опыты в указанных районах проводились при разных значениях температуры воды и солености и коэффициенты пропорциональности и регрессии в полученных уравнений были различны, что не допускает строгого сопоставления полученных материалов.

Для точного сравнения влияния изменений температуры воды на скорость потребления кислорода отдельно в каждой акватории необходимо было провести нормировку, т.е. корректировку значений  $R$  в соответ-

ствии с некоторыми функциями преобразования для их более строгого сравнения. Для этого рекомендуется два пути [14] — принятие одной, наиболее вероятной величины коэффициента регрессии, с последующей трансформацией материалов и нахождением  $R_I$  для каждой серии опытных данных или сравнение интенсивности дыхания  $R/W$  у животных одинаковой массы.

Второй подход, на наш взгляд, является более предпочтительным, и кроме того, к настоящему времени существуют точные методы трансформации имеющихся данных для их корректного сравнения. В частности, для этого применяется следующее уравнение [16; 29]:

$$R_{st} = \left[ \frac{W_{st}}{W_e} \right]^m \times R_e$$

где  $R_{st}$  и  $W_{st}$  — стандартизированное значение рациона и массы тела,  $R_e$  и  $W_e$  — экспериментальное значение рациона,  $m$  — коэффициент регрессии, связывающий скорость потребления кислорода с массой тела при данной температуре воды. В связи с этим в каждой экспериментальной группе были рассчитаны средние геометрические значения  $R/W$ . Их величины в разных рядах варьировали незначительно — в пределах 0,227–0,292 г, на основе чего было принято среднее значение равное 0,255 г (на рис. 1 это значение указано стрелкой). На основе этих данных были рассчитаны значения  $R/W$  для каждой измеренной группой.

Результаты изменений интенсивности дыхания —  $R/W_{(0,255 \text{ г})}$ , устриц ранжированные в порядке возрастания температуры воды в каждом районе, представлены на рисунке 3.

Анализ интенсивности дыхания в исследованных районах показал, что с возрастанием температуры воды идет устойчивое возрастание  $R/W$  в обеих акваториях. Обнаружено, что значение температурного коэффициента  $Q_{10}$  зависело от температуры воды — при низких значениях температуры воды  $Q_{10}$  было выше, чем при более высоких температурах.

Так, в Керченском проливе при возрастании температуры воды с 6 до 13°C величина  $Q_{10}$  составляла 3,10, тогда как в интервале 13–19 °C его значение было значительно ниже — 2,12.

В то же время в лимане Донузлав, при повышении температуры от 11 до 18°C величина  $Q_{10}$  составляла 2,41, а при ее возрастании с 18 до 23 °C интенсивность дыхания устриц хотя и увеличилась, но значения  $Q_{10}$  были меньше 2-х и составляли 1,97. Полученные данные свидетельствуют, что зависимость интенсивности дыхания устриц от температуры воды в среднем оказалась близка к величине 2,25, предложенной Г.Г. Винбергом [30].

Так, в работах Ньюелла с соавт. [23, 31] скорость потребления кислорода в зависимости от сухой массы тела при 20 °C описывалась общим уравнением 1:

$$R = 0,452 \times W^{0,658} \quad (1)$$

Довольно сходные результаты с полученными нами данными получены в работе Гейра с соавт. [32]. При температуре выше 20 °C значения коэффициента пропорциональности в приведенных ими уравнениях (аналогичных нашим, но выраженным мг  $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ ) несколько отличались от наших в большую сторону — при 30 °C он в среднем составлял 1,78 мг  $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ . Если сопоставить в одних и тех же единицах (мл  $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ ), т.е. разделить это значение на 1,43, то наши данные получатся заметно меньше, чем приведенного автора.

Можно также отметить работу Винтера с соавт. [20], где на близкородственном виде *Ostrea chilensis* эти исследователи нашли, что в уравнениях связывающих СПК с сухой массой тела, коэффициенты пропорциональности и регрессии соответственно составляли 0,266–0,410 и 0,73–0,75, т.е. были близкими к нашим данным. Полученные материалы оказались весьма близкими с нашими данными, и не выходили за пределы существования данного вида.

Для характеристики сравнительной эффективности влияния солёности мы поступили следующим образом. Для моллюсков, взятых из Керченского пролива, была исследована связь  $R/W$  с температурой воды. Она с высокой степенью аппроксимации выражалась экспоненциальной функцией, имеющей следующий вид:

$$R/W = 0,028 \cdot e^{0,097 \cdot T}, r = 0,99 \quad (2)$$

На основе этого уравнения были определены значения  $R/W_{(0,255)}$  соответственно при температурах 11 и 18 °C, т.е. при которых проводились опыты в лимане Донузлав. Расчеты показали, что значения  $R/W$  при указанных температурах в лимане Донузлав, соответственно на 25,9 и 19,1% (в среднем 22,5%) были выше, чем в Керченском проливе. Это в известной мере перекликается с материалами Т.В. Кракатицы [3, 4], полученными ей при изучении влияния солёности на выживаемость и рост устриц в заливах северо-западной части Черного моря. В частности, ею было обнаружено, что в условиях повышенной солёности (до 28,31–34,33‰) у моллюсков прекращался линейный и весовой рост всех размерных групп. При этом было отмечено, что у этих устриц процент отхода, хотя и был незначителен (1,6–7%), в контрольной группе наблюдался интенсивный рост устриц [3, 4]. При высокой солёности (более 28‰) воды мясо устриц становится твердым и менее вкусным, что, вероятно, было обусловлено высокой

гипертоничностью окружающей среды по сравнению с внутренней средой организма. Кроме того, отсутствие линейного и весового роста свидетельствует о резком угнетении ряда физиологических функций, характерных для данного вида.

Этот вид, как отмечалось выше, может обитать в различных биотопах с соленостью 32–35‰ (Атлантический океан, Средиземное море), в отдельных эстуариях до 45‰. Для устриц, обитающих в воде разной солености, оптимальный диапазон для жизнедеятельности весьма значителен. Заметные изменения в скорости обменных процессов возникают при солености 21–35‰, особенно при переходе границы 20–21‰ [3, 28, 33, 34].

Существование осмотических градиентов между тканями гидробионтов и окружающей водой создает опасность либо обезвоживания тела организмов, либо его избыточного обводнения, поэтому способность из-

бегать дегидратации в морской среде лежит в основе эвригалинности гидробионтов [17]. По-видимому, при переходе в воду резко пониженной солености должны были произойти определенные мутации, приводящие к снижению барьеров проницаемости у этого вида.

### Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что скорость потребления кислорода моллюсками тесно связана с массой тела и описывается уравнением степенной функции. С возрастанием температуры воды интенсивность дыхания устриц увеличивается. Наиболее значительно этот процесс протекает при температуре 6–13°C — значение температурного коэффициента  $Q_{10}$  достигает 3,10, при более высоких значениях температур величина  $Q_{10}$  снижается до 1,97–2,14. При понижении солености (в среднем на 3‰) интенсивность дыхания устриц уменьшается в среднем на 22,5%.

### ЛИТЕРАТУРА

- Алимов А.Ф. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков. — Л.: Наука, 1981. — 248 с.
- Золотницкий А.П., Орленко А.Н., Крючков В.Г., Н.А. Сытник. К вопросу организации крупномасштабного культивирования устриц в озере Донузлав. — Труды ЮгНИРО, 2008. — т. 46. — 48 с.
- Крактица Т.Ф. Биология черноморской устрицы в связи с вопросами ее воспроизводства. — Биологические основы морской аквакультуры, 1976. — в. 2–79 с.
- Крактица Т.Ф. Сокращение ареала и уменьшение численности устриц в Егорлыцком заливе. — Моллюски. Основные результаты их изучения. — Л.: Наука, 1979. — 112 с.
- Монин В.Л. Биологические основы разведения черноморской устрицы *Ostrea edulis* L. — Автореф. дисс. . . канд. биол. наук. — Севастополь, 1990. — 24 с.
- Переладов М.В. Современное состояние популяции черноморской устрицы. — Труды ВНИРО, 2005. — т. 144. — 254 с.
- Пиркова А.В., Ладыгина Л.В., В.И. Холодов. Воспроизводство черноморской устрицы *Ostrea edulis* L. как исчезающего вида. — Рыбное хозяйство Украины, 2002. — №. 3–4. — 8 с.
- Сытник Н.А. Функциональная экология плоской устрицы *Ostrea edulis* L.: автореф. дисс. автореф. дис. на соискание ученой степени канд. биол. наук: спец. 03.02.08 «Экология». — Краснодар, 2015.
- Винберг Г.Г. Скорость роста и интенсивность обмена у животных / Г.Г. Винберг // Усп. совр. биол. — 1966. — № 6. — С. 274–293.
- Алимов А.Ф. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков. / А.Ф. Алимов — Л.: Наука, 1981. — 248 с.
- Ивлева И.В. Температура среды и скорость энергетического обмена у водных животных / И.В. Ивлева — К: Наукова думка, 1981. — 232 с.
- Эффективность роста гидробионтов / [Ред. Г.Г. Винберг]. — Гомель: 1986. — С. 20–62.
- Шмидт-Ниельсен К. Физиология животных: приспособление и среда / К. Шмидт-Ниельсен. — М.: Мир, 1982. — 800 с.
- Карпевич А.Ф. Теория и практика акклиматизации водных организмов / А.Ф. Карпевич — М.: Пищевая промышленность, 1975. — 405 с.
- Hutchison S. Quantification of the physiological responses of the European flat oyster *Ostrea edulis* L. to temperature and salinity/ Hutchison S., L.E. Hawkins // J. Moll. Stud. — 1992. — vol. 58. — P. 215–226.
- Buxton C.D. Response surface analysis of the combined effects of exposure and acclimation temperatures on filtration, oxygen consumption and scope for growth in the oyster *Ostrea edulis* / C.D. Buxton, B.C. Newell, J.G. Field // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 1981. — V. 6. — P. 73–82.
- Hemmingsen A.M. The relation of standart (basal) energy metabolism to total fresh weight of living organisms / A.M. Hemmingsen// Rep. Stenool. memor. Hospital, Copench., 1960. — Vol. 4. — P. 7–58.
- Заика В.Е. Сравнительная продуктивность гидробионтов / Заика В.Е. — К.: Наукова думка, 1983. — 206 с.
- Заика В.Е. Балансовая теория роста животных / В.Е. Заика — Киев: Наукова думка, 1985. — 191 с.
- Winter E.J. A critical review on some aspects of filter-feeding in lamellibranchiate bivalves / E.J. Winter // Haliotis— 1976. — vol. 7. — P. 71–87.
- Beiras R. Short-term and long-term alterations in the energy budget of young oyster *Ostrea edulis* L. in response to temperature change/ R. Beiras // J. Exp. Mar. Biol. and Ecol. — 1995. — vol. 186, № 2. — P. 221–236.
- Dame R.F. Energy flow in an intertidal oyster population / R.F. Dame — Est. Coastal Mar. Sci. — 1976. — Vol. 4. — P. 243–253.

23. Newell R.C. The influence of temperature on the maintenance of metabolic energy balance in marine invertebrates / R.C. Newell, G.M. Branch // *Adv. mar. Biol.* — 1980. — Vol. 17. — P. 329–396
24. Rodhouse P.G. A note on the energy budget for an oyster population in a temperate estuary / P.G. Rodhouse // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* — 1979. — Vol. 37. — P. 205–212.
25. Lucas A. Bioenergetics of aquatic animals / A. Lucas — Taylor & Francis, 1996—169 p.
26. Kennedy R.J. a survey of the current status of the flat oyster *Ostrea edulis* in strange ford laugh, northern ireland, with a view to the restoration of its oyster beds/ R.J. Kennedy, D. Roberts // *biol. envir.: proc. royal irish academy.* — 1999. — vol. 99, № 2. — P. 79–88.
27. Korringa P. Relations between the moon and periodicity in breeding throughout the geographical ranges of *Ostrea edulis*. / P. Korringa // *Ann. Bio.* — 1947. — vol. 33. — p. 1–17.
28. Roedstroem P.R.M. Survival and feeding activity of oyster spat (*Ostrea edulis* L.) as a function of temperature and salinity with implications for culture policies on the Swedish west coast / P. R.M. Roedstroem, P. R Jonsson // *J. Shellfish. Res.* — 2000. — vol. 19, № 2. — P. 799–808.
29. Bayne B.L. Physiological energetics of marine mollusks. *The Mollusca* / [B.L. Bayne, R.C. Newell // In: Wilburg, K.M., Saleuddin, A.S.M. (Eds.).] — Acad. Press-London, 1983. — Vol. 4. — P. 407–415.
30. Винберг Г.Г. Температурный коэффициент Вант-Гоффа и уравнение Аррениуса в биологии. // *Журн. общ. биол.* — Т. № 1. — 1983. — С. 31–42.
31. Newell K.C. Adjustment of the components of energy balance in response to temperature change in *Ostrea edulis* / K.C. Newell, L.G. Johnson L.H. Kofoed // *Ecologia (Berl.)*. — 1981. — vol. 7, № 30. — P. 97–110.
32. Haure J. Influence of temperature on clearance and oxygen consumption rates of the flat oyster *Ostrea edulis*: determination of allometric coefficients / J. Haure, C. Penisson, S. Bougrier, J.P. Baud // *Aquaculture.* — 1998 — V 169 — P. 211–224.
33. Davis H.C. Survival and growth of larvae of the European oyster, *Ostrea edulis*, at lowered salinities/ H.C. Davis, A.D. Ansell // *Biol. Bull.* — 1962. — Vol. 122. — P. 33–39.
34. Loosanoff V.L. Rearing of bivalve molluscs. *Advances in Marine Biology*/ V.L. Loosanoff, H.C. Davis [In: Russell, F.S. (Eds.)] // Academic Press, London. — 1963. — Vol. 1. — P. 1–136.

© Сытник Наталья Александровна ( amtek-kerch@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Керчь

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАФИКА В МЕЖСПУТНИКОВЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ КОНТУРНЫМ МЕТОДОМ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ<sup>1</sup>

## DETERMINATION OF THE OPTIMAL DISTRIBUTION OF TRAFFIC IN INTERSATELLITE COMMUNICATION CHANNELS BY THE CONTOUR METHOD ACCORDING TO THE CRITERION OF MINIMUM BANDWIDTH

**D. Abramchik  
K. Gaipov  
I. Krikunov  
N. Shpiger**

*Summary.* The subject of research in this article is a satellite system for remote sensing of the Earth, for which it is necessary to calculate the optimal traffic flow through the satellite–Earth station and satellite–satellite communication channels, which would require a minimum amount of bandwidth of these channels. This study is of great interest, since such systems in the modern world are used in most spheres of human life. It follows from this that finding the optimal parameters for the satellite–Earth station and satellite–satellite communication channels affects the efficiency of the system, and therefore the completeness and quality of the information transmitted from satellites to Earth. Some scheme is considered, which is an example of a satellite system for which a mathematical model was compiled using the contour method. The mathematical model was developed based on the assumptions of a deterministic information flow, which made it possible to reduce the formulation of the problem to a linear objective function and constraints. Thanks to the obtained model, a sample of possible flow values and bandwidth of communication channels was obtained, taking into account the limitation of their sum, when setting flow values on the satellite — Earth station channels.

*Keywords:* satellite communication, traffic distribution, contour method.

**Абрамчик Даниил Дмитриевич**

Сибирский государственный университет науки  
и технологии им. академика М.Ф. Решетнева  
abramchik\_daniil@mail.ru

**Гаипов Константин Эдуардович**

Ведущий научный сотрудник научной лаборатории  
Спутниковые телекоммуникационные системы;  
кандидат тех. наук, Сибирский государственный  
университет науки и технологии им. академика  
М.Ф. Решетнева

**Крикунов Илья Леонидович**

Младший научный сотрудник научной  
лаборатории Спутниковые телекоммуникационные  
системы, Сибирский государственный университет  
науки и технологии им. академика М.Ф. Решетнева

**Шпигер Никита Владимирович**

Сибирский государственный университет науки  
и технологии им. академика М.Ф. Решетнева

*Аннотация.* Предметом исследования в данной статье является спутниково-земная система для дистанционного зондирования Земли, для которой необходимо произвести расчеты оптимального прохождения трафика по каналам связи спутник — земная станция и спутник — спутник, при которой требовалась бы минимальная сумма пропускных способностей данных каналов. Данное исследование представляет большой интерес, поскольку такие системы в современном мире находят применение в большинстве сфер человеческой жизни. Из этого следует, что нахождение оптимальных параметров для каналов связи спутник — земная станция и спутник — спутник влияет на эффективность использования системы, а значит на полноту и качество передаваемой информации со спутников на Землю. Рассмотрена некоторая схема, представляющая собой, пример спутниковой системы, для которой была составлена математическая модель, с помощью использования метода контуров. Математическая модель разрабатывалась исходя из предположений детерминированного информационного потока, что позволило свести постановку задачи к линейной целевой функции и ограничениям. Благодаря полученной модели, был получен образец возможных значений потоков и пропускных способностей каналов связи, с учетом ограниченности их суммы, при задании значений потоков на каналах спутник — земная станция.

*Ключевые слова:* спутниковая связь, распределение трафика, контурный метод.

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» СибГУ им. М.Ф. Решетнева

Спутниковые системы для дистанционного зондирования Земли (далее ДЗЗ) являются незаменимым инструментом изучения и постоянного мониторинга нашей планеты, помогающий эффективно использовать и управлять её ресурсами [1]. Данные системы позволяют производить сбор и передачу информации с территорий, где из-за особенностей поверхности Земли проведение оптоволоконной связи является труднодоступным. Они могут использоваться для изучения природных ресурсов Земли и решения задач метеорологии [2], а также множество других задач [3]. Для решения таких задач в России корпорация «Роскосмос» разрабатывает проект «Сфера». Планируется, что благодаря этому проекту будет создана самая современная система коммуникаций и мониторинга, включающая в себя существующую и перспективную космическую инфраструктуру [4]. Поскольку данные технологии нашли большое применение в различных сферах человеческой жизни, то задачи оптимизации трафика в системах ДЗЗ является приоритетной.

Однако, в процессе эксплуатации, в системах ДЗЗ могут возникнуть проблемы, из-за которых сбор и передача информации будут происходить с ошибками. Например, недостатком применения современных средств ДЗЗ является низкая оперативность получения информации [5]. Некоторые наблюдения трудно интегрировать в космосе (например, облака), а также использование данных становится экономически неэффективным при единичных исследованиях небольших территорий [6]. Существует проблема пересечения областей покрытия космических аппаратов (далее КА). Она наиболее характерна для негеостационарных спутниковых систем связи (далее, НГССС), поскольку туда обычно входят системы на круговых низких и средних орбитах [6]. Если абоненты находятся в покрытии одного КА, то этот аппарат напрямую обеспечивает связь между ними. В случае если абоненты находятся в области покрытия разных КА, то возникает необходимость в передаче их данных от одного КА другому. Существует два способа решения данной проблемы:

1. Увеличение числа земных станций (далее ЗС). Из-за различных особенностей поверхности Земли, такой способ является очень затруднительным.
2. Связать КА межспутниковыми линиями в полную спутниковую сеть (если не учитывать связи с абонентскими терминалами, находящимися за пределами радиовидимости), чтобы каждый КА ССС мог связаться с другим любым КА ССС через другие КА, не обращаясь к ЗС [7], [8]. В данной сети возникает проблема маршрутизации.

Информационное взаимодействие между спутниками группировки и между спутниками и наземными станциями является неотъемлемым элементом авто-

номного планирования и управления [9]. Эта взаимодействие представляет собой каналы связи по которым все КА передают информацию друг другу и затем передается на ЗС. Поэтому получаемую информацию от каждого спутника системы ДЗЗ, можно представить в виде потока трафика, идущего по каналам до спутников, связанных с ЗС. Причем каждый канал связи может использоваться для нескольких маршрутов в этом случае суммарное требование маршрутов к пропускной возможности канала может превышать остаточную пропускную способность [10]. Расчет оптимального распределения может позволить обеспечивать более надежную и эффективную передачу данного трафика.

### Постановка задачи

Имеется некоторая схема расположения КА, которая является примером системы ДЗЗ (рис. 1). Предполагается, что большинство КА имеет постоянную связь между собой, а также некоторые из аппаратов имеют постоянную связь с ЗС. Пропускная способность в каналах связи спутник — спутник одинаковы, также, как и в каналах спутник — Земля. Необходимо сформировать математическую модель для расчета оптимального распределения трафика.

### Решение

Представим данную схему в виде направленного графа (рис. 2), вершинами являются КА и Земля, каналы связи представлены направленными ребрами.

В данном случае для формирования математической модели возможно использовать несколько способов, представленных в исследованиях [11], [12] и [13], которые основаны на тензорном методе [14]. Рассмотрим формирование с помощью контурного метода. Согласно данному методу сеть представляется как совокупность геометрических объектов в пространстве и размерность определяется топологией сети. Из этого следует, что преимуществом является простота алгоритма получения математической модели, решение которой, в зависимости от поставленных ограничений, обеспечивает оптимальное распределение трафика между сайтами. Поскольку каждый источник, генерирующий трафик, является независимым от других источников, то поток в каждом ребре, создаваемый  $i$ -м источником, будет выражен линейной комбинацией контурных интенсивностей для соответствующего источника. Под контурной интенсивностью, понимается поток, циркулирующий в линейно-независимом контуре графа. Контурная интенсивность, создаваемая источником  $i$  численно равна потоку в соответствующей

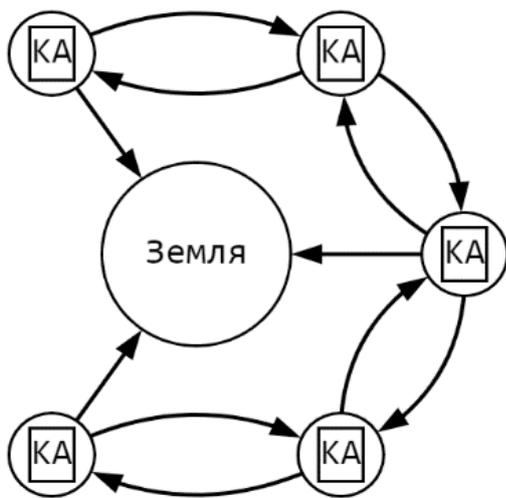


Рис. 1. Пример некоторой системы ДЗЗ

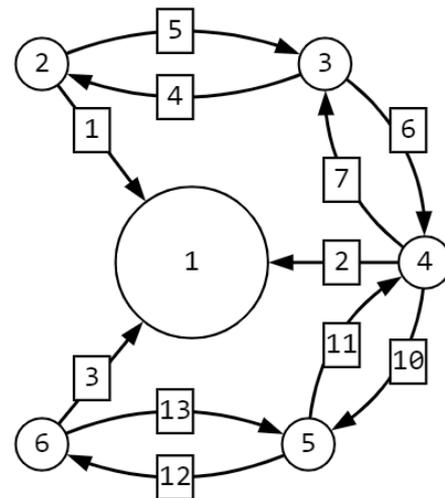


Рис. 2. Представление системы ДЗЗ в виде направленного графа

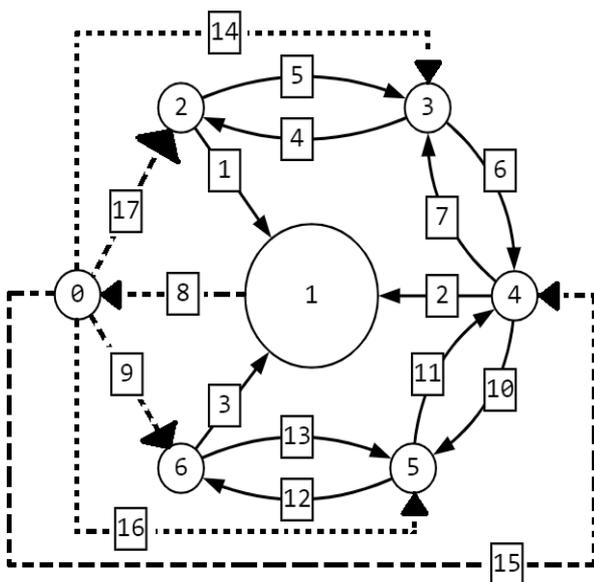


Рис. 3. Новый граф, полученный путем добавления дополнительной вершины

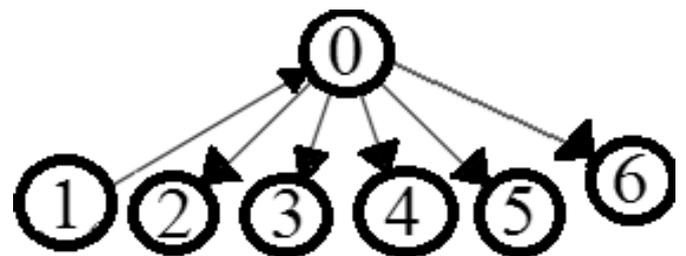


Рис. 4. Дерево полученного на рисунке 3 графа

хорде [15]. Чтобы воспользоваться контурным методом решения необходимо привести имеющуюся схему к замкнутому виду. Для удобства введем дополнительную, нулевую, вершину (рис. 3) и соединим её со всеми остальными. Поскольку суммы потоков, которые поступают в сеть и выходят из неё, равны между собой, то это эквивалентно объединению рёбер истоков и стоков между собой как показано на рисунке 3. В данном случае ребра 9, 14, 15, 16, 17 являются ребрами истоков, а ребро 8 является ребром стока.

Поскольку количество контурных интенсивностей равно количеству хорд, для их поиска необходимо определить дерево данного графа (рис 4).

Ребра, содержащиеся в дереве графа, являются его ветвями. Все остальные ребра являются хордами. Количество линейно-независимых контуров в графе определяется его цикломатическим числом  $\nu = n - m + p$ , где  $n$  число ребер графа,  $m$  — число узлов в графе,  $p$  — число несвязанных компонент графа, в данном случае

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Рис. 5

$$\Lambda_{16} = \begin{pmatrix} \lambda_{16_1} \\ \lambda_{16_2} \\ \lambda_{16_3} \\ \lambda_{16_4} \\ \lambda_{16_5} \\ \lambda_{16_6} \\ \lambda_{16_7} \\ \lambda_{16_{10}} \\ \lambda_{16_{11}} \\ \lambda_{16_{12}} \\ \lambda_{16_{13}} \end{pmatrix} \Lambda_{17} = \begin{pmatrix} \lambda_{17_1} \\ \lambda_{17_2} \\ \lambda_{17_3} \\ \lambda_{17_4} \\ \lambda_{17_5} \\ \lambda_{17_6} \\ \lambda_{17_7} \\ \lambda_{17_{10}} \\ \lambda_{17_{11}} \\ \lambda_{17_{12}} \\ \lambda_{17_{13}} \end{pmatrix} \Lambda_{15} = \begin{pmatrix} \lambda_{15_1} \\ \lambda_{15_2} \\ \lambda_{15_3} \\ \lambda_{15_4} \\ \lambda_{15_5} \\ \lambda_{15_6} \\ \lambda_{15_7} \\ \lambda_{15_{10}} \\ \lambda_{15_{11}} \\ \lambda_{15_{12}} \\ \lambda_{15_{13}} \end{pmatrix} \Lambda_{14} = \begin{pmatrix} \lambda_{14_1} \\ \lambda_{14_2} \\ \lambda_{14_3} \\ \lambda_{14_4} \\ \lambda_{14_5} \\ \lambda_{14_6} \\ \lambda_{14_7} \\ \lambda_{14_{10}} \\ \lambda_{14_{11}} \\ \lambda_{14_{12}} \\ \lambda_{14_{13}} \end{pmatrix} \Lambda_9 = \begin{pmatrix} \lambda_{9_1} \\ \lambda_{9_2} \\ \lambda_{9_3} \\ \lambda_{9_4} \\ \lambda_{9_5} \\ \lambda_{9_6} \\ \lambda_{9_7} \\ \lambda_{9_{10}} \\ \lambda_{9_{11}} \\ \lambda_{9_{12}} \\ \lambda_{9_{13}} \end{pmatrix}$$

Рис. 6

рассматриваются только однокомпонентные графы [6]. Значит, число хорд тоже будет определяться этой формулой. В данном случае их 11. Определим матрицу контуров, согласно имеющемуся графу. Количество столбцов соответствует количеству рёбер, причем сначала идут ребра, являющиеся хордами, затем ребра, являющиеся ветвями, а количество строк количеству хорд. Каждая хорда образует контур, в который входят ветви графа. Определяем ветви контуров, которые входят в контур,—1 — противоположны контуру, 0 — не входят, 1 — направлены по контуру. Матрица контуров, для данного графа, будет иметь вид: рис. 5, где  $\lambda_{nm}$  — поток, который идет по ветви n через хорду m..

Необходимо составляем столбец потоков в контурах для каждого из источников. Канал 8 является единственным стоком, поэтому суммарный поток в нем будет равен суммарному потоку от источников, следовательно, в дальнейших расчетах он не будет, учитывается (рис. 6).

Необходимо умножить каждый столбец на транспонированную матрицу контуров и затем суммировать полученные результаты: рис. 7.

Первые 11 элементов вектора  $\Lambda_n'$  показывают значения потоков в ребрах, создаваемых источником n,

$$\Lambda n' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \times \begin{pmatrix} \lambda n_1 \\ \lambda n_2 \\ \lambda n_3 \\ \lambda n_4 \\ \lambda n_5 \\ \lambda n_6 \\ \lambda n_7 \\ \lambda n_{10} \\ \lambda n_{11} \\ \lambda n_{12} \\ \lambda n_{13} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda n_1 \\ \lambda n_2 \\ \lambda n_3 \\ \lambda n_4 \\ \lambda n_5 \\ \lambda n_6 \\ \lambda n_7 \\ \lambda n_{10} \\ \lambda n_{11} \\ \lambda n_{12} \\ \lambda n_{13} \\ \lambda n_1 + \lambda n_2 + \lambda n_3 \\ \lambda n_3 - \lambda n_{12} + \lambda n_{13} \\ \lambda n_4 - \lambda n_5 - \lambda n_6 + \lambda n_7 \\ \lambda n_2 + \lambda n_6 - \lambda n_7 - \lambda n_{10} + \lambda n_{11} \\ \lambda n_{10} - \lambda n_{11} + \lambda n_{12} - \lambda n_{13} \\ \lambda n_1 - \lambda n_4 + \lambda n_5 \end{pmatrix}$$

Рис. 7

последние шесть элементов показывают значение потоков в ветвях создаваемые источником n.

Для определения суммарного потока по всем ребрам необходимо просуммировать вектора  $\Lambda n'$ .

$$\Lambda_{\Sigma} = \sum \Lambda n'$$

Из вектора  $\Lambda_{\Sigma}$  берем строки, относящиеся к потокам в хордах, в нашем случае это первые 11 строк, и формируем следующую систему неравенств:

$$\begin{pmatrix} \lambda 9_1 + \lambda 14_1 + \lambda 15_1 + \lambda 16_1 + \lambda 17_1 \\ \lambda 9_2 + \lambda 14_2 + \lambda 15_2 + \lambda 16_2 + \lambda 17_2 \\ \lambda 9_3 + \lambda 14_3 + \lambda 15_3 + \lambda 16_3 + \lambda 17_3 \\ \lambda 9_4 + \lambda 14_4 + \lambda 15_4 + \lambda 16_4 + \lambda 17_4 \\ \lambda 9_5 + \lambda 14_5 + \lambda 15_5 + \lambda 16_5 + \lambda 17_5 \\ \lambda 9_6 + \lambda 14_6 + \lambda 15_6 + \lambda 16_6 + \lambda 17_6 \\ \lambda 9_7 + \lambda 14_7 + \lambda 15_7 + \lambda 16_7 + \lambda 17_7 \\ \lambda 9_{10} + \lambda 14_{10} + \lambda 15_{10} + \lambda 16_{10} + \lambda 17_{10} \\ \lambda 9_{11} + \lambda 14_{11} + \lambda 15_{11} + \lambda 16_{11} + \lambda 17_{11} \\ \lambda 9_{12} + \lambda 14_{12} + \lambda 15_{12} + \lambda 16_{12} + \lambda 17_{12} \\ \lambda 9_{13} + \lambda 14_{13} + \lambda 15_{13} + \lambda 16_{13} + \lambda 17_{13} \end{pmatrix} \leq \begin{pmatrix} R_1 \\ R_1 \\ R_1 \\ R_2 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $R_1$  — пропускная способность каналов спутник — Земля,  $R_2$  — пропускная способность каналов спутник — спутник.

Формула (1) показывает, что пропускная способность каналов должна всегда быть больше либо равна интенсивности трафика, протекающего через них.

Для ребер являющихся стоками необходимо указать, что их значения не отрицательны, в нашем случае это означает, что 12-й элемент векторов  $\Lambda n'$  больше либо равен нулю,  $\lambda n_1 + \lambda n_2 + \lambda n_3 \geq 0 \forall n$ , отметим что данное условие не обязательно, так как в сети нет потерь, следовательно поток в стоке от источника n будет равен значению потока в источнике.

Структура спутниковой сети ДЗЗ такова, что значения потоков в ветвях, которые являются ребрами источниками, является известной величиной, эти значения определяются исходя из объема генерируемой информации, создаваемой спутником ДЗЗ. В данном примере имеется пять источников, данные от которых поступают в сеть по ребрам 9, 14, 15, 16 и 17. Также очевидно, что потоки, создаваемые определенным источником, не могут создавать нагрузку на ребра, через которые поступают данные от других источников, то есть эти потоки равны нулю, исходя из сказанного можно сформировать следующую систему уравнений используя элементы с 13 по 17 из матриц  $\Lambda n'$ :

$$\begin{pmatrix} \lambda 9_3 - \lambda 9_{12} + \lambda 9_{13} \\ \lambda 9_4 - \lambda 9_5 - \lambda 9_6 + \lambda 9_7 \\ \lambda 9_2 + \lambda 9_6 - \lambda 9_7 - \lambda 9_{10} + \lambda 9_{11} \\ \lambda 9_{10} - \lambda 9_{11} + \lambda 9_{12} - \lambda 9_{13} \\ \lambda 9_1 - \lambda 9_4 + \lambda 9_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 50 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \lambda 14_3 - \lambda 14_{12} + \lambda 14_{13} \\ \lambda 14_4 - \lambda 14_5 - \lambda 14_6 + \lambda 14_7 \\ \lambda 14_2 + \lambda 14_6 - \lambda 14_7 - \lambda 14_{10} + \lambda 14_{11} \\ \lambda 14_{10} - \lambda 14_{11} + \lambda 14_{12} - \lambda 14_{13} \\ \lambda 14_1 - \lambda 14_4 + \lambda 14_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 20 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$\lambda 9_1 = 0; \lambda 9_2 = 0; \lambda 9_3 = 50; \lambda 9_4 = 0; \lambda 9_5 = 0; \lambda 9_6 = 6,667; \lambda 9_7 = 6,667; \lambda 9_{10} = 0; \lambda 9_{11} = 0; \lambda 9_{12} = 0; \lambda 9_{13} = 0; \lambda 14_1 = 20; \lambda 14_2 = 0; \lambda 14_3 = 0; \lambda 14_4 = 20; \lambda 14_5 = 0; \lambda 14_6 = 0; \lambda 14_7 = 0; \lambda 14_{10} = 0; \lambda 14_{11} = 0; \lambda 14_{12} = 0; \lambda 14_{13} = 0; \lambda 15_1 = 0; \lambda 15_2 = 30; \lambda 15_3 = 0; \lambda 15_4 = 0; \lambda 15_5 = 0; \lambda 15_6 = 0; \lambda 15_7 = 0; \lambda 15_{10} = 0; \lambda 15_{11} = 0; \lambda 15_{12} = 0; \lambda 15_{13} = 0; \lambda 16_1 = 3,333; \lambda 16_2 = 20; \lambda 16_3 = 16,667; \lambda 16_4 = 3,333; \lambda 16_5 = 0; \lambda 16_6 = 3,333; \lambda 16_7 = 0; \lambda 16_{10} = 23,333; \lambda 16_{11} = 0; \lambda 16_{12} = 16,667; \lambda 16_{13} = 0; \lambda 17_1 = 43,333; \lambda 17_2 = 16,667; \lambda 17_3 = 0; \lambda 17_4 = 0; \lambda 17_5 = 16,667; \lambda 17_6 = 0; \lambda 17_7 = 16,667; \lambda 17_{10} = 0; \lambda 17_{11} = 0; \lambda 17_{12} = 6,667; \lambda 17_{13} = 6,667; R_1 = 66,667; R_2 = 23,333$

Рис. 8

$$\begin{pmatrix} \lambda 15_3 - \lambda 15_{12} + \lambda 15_{13} \\ \lambda 15_4 - \lambda 15_5 - \lambda 15_6 + \lambda 15_7 \\ \lambda 15_2 + \lambda 15_6 - \lambda 15_7 - \lambda 15_{10} + \lambda 15_{11} \\ \lambda 15_{10} - \lambda 15_{11} + \lambda 15_{12} - \lambda 15_{13} \\ \lambda 15_1 - \lambda 15_4 + \lambda 15_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 30 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \lambda 16_3 - \lambda 16_{12} + \lambda 16_{13} \\ \lambda 16_4 - \lambda 16_5 - \lambda 16_6 + \lambda 16_7 \\ \lambda 16_2 + \lambda 16_6 - \lambda 16_7 - \lambda 16_{10} + \lambda 16_{11} \\ \lambda 16_{10} - \lambda 16_{11} + \lambda 16_{12} - \lambda 16_{13} \\ \lambda 16_1 - \lambda 16_4 + \lambda 16_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 40 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \lambda 17_3 - \lambda 17_{12} + \lambda 17_{13} \\ \lambda 17_4 - \lambda 17_5 - \lambda 17_6 + \lambda 17_7 \\ \lambda 17_2 + \lambda 17_6 - \lambda 17_7 - \lambda 17_{10} + \lambda 17_{11} \\ \lambda 17_{10} - \lambda 17_{11} + \lambda 17_{12} - \lambda 17_{13} \\ \lambda 17_1 - \lambda 17_4 + \lambda 17_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 60 \end{pmatrix}$$

Последним ограничением является то что значения пропускных способностей каналов является не отрицательной величиной, то есть  $R_1 \geq 0$  и  $R_2 \geq 0$ .

Далее определяем целевую функцию как суммы пропускных способностей, с условием минимума, межспутникового канала и канала спутник — ЗС

$$f(\lambda n_m, R_1, R_2) = R_1 + R_2 \rightarrow \min$$

Отметим, что в более общем виде можно разбить все каналы на G групп, и задать, что скорости каналов в рамках этой группы одинаковые, в этом случае целевая функция будет выглядеть следующим образом:

$$f(\lambda n_m, R_1, \dots, R_G) = \sum_{i=1}^G R_i \rightarrow \min$$

И в результате получим значения потоков в каналах, а также пропускных способностей каналов, представленные на рис. 8.

### Заключение

С помощью данной математической модели и заданными потоками на ветвях, можно определить оптимальное распределение трафика по каналам связи системы ДЗЗ. Таким образом, в результате моделирования получается, что пропускная способность межспутникового канала должна быть равна  $R_2=23,333$  ед.инф/с, а скорость между спутником и наземной станцией должна быть  $R_1=66.667$  ед.инф/с. Предложенная математическая модель является базовой, так как может быть расширена путем добавления дополнительных ограничений на загрузку каналов, задержки и/или потери информации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дистанционное зондирование Земли [Электронный ресурс]. URL: <https://www.roscosmos.ru/24707/>
2. Хабаров Д.А., Адиев Т.С., Попова О.О., Чугунов В.А., Кожевников В.А. Анализ современных технологий дистанционного зондирования Земли [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sovremennyh-tehnologiy-distsionnogo-zondirovaniya-zemli/viewer>
3. Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи: учеб. пособие; Москва, 2010. 536 стр.
4. Проект «Сфера» переходит к практической реализации [Электронный ресурс]. URL: <https://www.roscosmos.ru/33771/>
5. Привалов А.Е., Федяев В.В., Бугайченко П.Ю. «Применение многоакцентных технологий для построения имитационных моделей многоспутниковых орбитальных группировок дистанционного зондирования земли» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47151733>
6. Михаленко Е.Б., Беляев Н.Д., Боголюбова А.А., Вилькевич В.В., Загрядская Н.Н., Ковязин А.В. Инженерная геодезия. Использование современного оборудования для решения геодезических задач: учеб. пособие; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2013. 98 стр.

7. Иванов В.И. Алгоритм централизованной многопутевой маршрутизации с балансировкой нагрузки в негеостационарной спутниковой системе связи с межспутниковыми линиями [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algorithm-tsentralizovannoy-mnogoputevoy-marshrutizatsii-s-balansirovkoj-nagruzki-v-negeostatsionnoy-sputnikovoy-sisteme-svyazi-s-mejsputnikovymi-liniyami>
8. Аганесов А.В., Макаренко С.И. Модель объединенной воздушно-космической сети связи с децентрализованным принципом ретрансляции информационных потоков на основе mesh-технологий [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26281305>
9. Карсаев О.В. Имитационное моделирование автономного управления группировкой малых спутников [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnoe-modelirovanie-avtonomnogo-upravleniya-gruppirovkoj-malyh-sputnikov/viewer>
10. Карсаев О.В. Концептуальная модель маршрутизации данных в многоспутниковой низкоорбитальной системе связи [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnaya-model-marshrutizatsii-dannyh-v-mnogosputnikovoy-nizkoorbitalnoy-sisteme-svyazi/viewer>
11. Гутковская О.Л., Пономарев Д.Ю. Контурный метод анализа сетей VPN: Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1 Стр. 343.
12. Гутковская О.Л., Пономарев Д.Ю. Узловой метод анализа сетей VPN: Фундаментальные исследования. 2015. № 11–5 Стр. 875–881.
13. Гутковская О.Л., Пономарев Д.Ю. Ортогональный метод анализа сетей VPN: Современные наукоемкие технологии. 2016. № 7–1. Стр. 30–37.
14. Крон Г. Тензорный анализ сетей. — М.: Сов. радио, 1978. — 719 с.
15. Гутковская О.Л. Топологический метод формирования математической модели телекоммуникационной сети на основе матрицы контуров [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/topologicheskij-metod-formirovaniya-matematicheskoy-modeli-telekommunikatsionnoy-seti-na-osnove-matritsy-konturov/viewer>

© Абрамчик Даниил Дмитриевич ( [abramchik\\_daniil@mail.ru](mailto:abramchik_daniil@mail.ru) ),

Гаипов Константин Эдуардович, Шпигер Никита Владимирович .

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва

## МОНИТОРИНГ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ

### MONITORING THE SECURITY OF CLOUD SERVICES

V. Burygin

*Summary.* Cloud computing speeds up the process of developing and releasing software applications, but cloud services are becoming more complex and dynamic, using both PaaS and IaaS level resources. The purpose of the study is to monitor the security of cloud services. The proposed modular approach to building a security monitoring system will help specialists focus on abstract, not assigned to a specific cloud provider, concepts when setting up a control system in several clouds. It is shown that technologies for monitoring the security of cloud services in general have a positive impact on the functioning of the management system of business structures. It is concluded that when forming the structure of the cloud service security monitoring system, the proposed methods will allow the formation and control of a service level agreement (SLA) at the same time, along with a system of metrics and performance indicators for cloud services.

*Keywords:* monitoring, security, cloud services, efficiency, infrastructure, system.

**Бурьгин Вячеслав Михайлович**

Аспирант, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевич  
slashburygin@gmail.com

*Аннотация.* Облачные технологии ускоряют процесс разработки и выпуска программных приложений, однако облачные сервисы становятся более сложными и динамичными, используя как ресурсы уровня PaaS, так и IaaS. Целью исследования является мониторинг безопасности облачных сервисов. Предложенный модульный подход к построению системы мониторинга безопасности поможет специалистам сосредоточиться на абстрактных, не закрепленных за конкретным облачным провайдером, концепциях при настройке системы контроля в нескольких облаках. Показано, что технологии мониторинга безопасности облачных сервисов в целом оказывают положительное влияние на функционирование системы управления предпринимательских структур. Сделан вывод о том, что при формировании структуры системы мониторинга безопасности облачного сервиса предложенные методы позволят формировать и контролировать одновременно соглашение об уровне сервиса (SLA) вместе с системой метрик и показателей эффективности работы облачных сервисов.

*Ключевые слова:* мониторинг, безопасность, облачные сервисы, эффективность, инфраструктура, система.

**Б**ыстрое развитие и распространение облачных технологий (cloud computing) сейчас является одним из ключевых трендов, которые в ближайшие 5–8 лет заметно повлияют на глобальное развитие IT-индустрии и на сферы бизнеса, финансов, государственного управления, медицины, образования и на многие другие сферы человеческой жизни. Международная исследовательская и консалтинговая компания IDC считает, что парадигма облачных вычислений — это фундамент для развития корпоративных информационных систем, и именно они будут главным драйвером развития рынка информационных технологий, как в мире, так и в отдельных государствах [1]. Облачные технологии ускоряют процесс разработки и выпуска программных приложений, однако облачные сервисы становятся все сложнее, динамичнее и геретрогеннее, используя как ресурсы уровня PaaS, так и IaaS. Передовые компании в области облачных вычислений предоставляют возможность разработки и управления облачными сервисами, развернутыми в нескольких облаках. В этом контексте сбор данных по состоянию и использованию облачных сервисов становится очень сложным при использовании традиционных мониторинговых инструментов, поскольку они были разработаны для локальных решений, пред-

лагающих унифицированные API для мониторинга безопасности, и с учетом того, что со временем конфигурация программных приложений развивается медленно [2]. Поэтому следует считать целесообразной разработку как теоретических, так и прикладных аспектов создания и функционирования систем мониторинга безопасности сложных облачных сервисов. Эти происшествия и определяют актуальность темы исследования.

Анализ последних исследований и публикаций. Теоретические и прикладные вопросы мониторинга безопасности являются предметом научных исследований таких зарубежных и отечественных ученых. Проблемы и вопросы развития облачных технологий нашли свое отражение в трудах зарубежных и отечественных авторов и др. В частности, в своей работе исследователи Ф. Чоу, А. Муфту и Р. Шортер утверждают [3], что модель PaaS (Платформа как сервис) предлагает виртуальные среды выполнения облачных сервисов с общими инструментами и библиотеками для их разработки и внедрения в облако. PaaS использует модель IaaS (Инфраструктура как сервис) в качестве базы (серверы, память и сеть). При этом модель PaaS скрывает сложность управления IT-инфраструктурой. Исследование Д. Мрозка показало, что передача основных служб и прило-

жений в облако привела к появлению новых требований к разработке производительного программного обеспечения [4]. Конфигурация облачных сервисов стала более сложной, что требует пересмотра принципов построения систем мониторинга безопасности, иначе устранение возможных проблем потребует гораздо более значительных усилий и затрат. Таким образом, имея значительный практический интерес, проблема исследования построения и функционирования систем мониторинга безопасности сложных облачных сервисов заслуживает особого внимания.

Тенденции развития облачных вычислений свидетельствуют, что облачные сервисы становятся все более и более сложно разворачиваемыми, создаваемыми и развиваемыми системами на базе гибридных инфраструктур, состоящих из множества облаков, кибернетических систем и ресурсов Интернет. Контроль и мониторинг безопасности таких сервисов представляет собой сложную задачу. Целью работы является разработка теоретико-методологических подходов к определению сущности и особенностей построения систем мониторинга безопасности облачных сервисов, развернутых в облачной среде.

Развитие инфраструктуры облачных вычислений порождает новые объекты мониторинга безопасности — виртуальные машины, виртуальные серверы, облачные платформы. Контролировать подобную систему можно только при учете взаимосвязей между разными ее частями, только в этом случае можно гарантировать своевременное устранение и предотвращение неполадок [5]. В облачной среде система мониторинга безопасности должна не только получать информацию о работе отдельных компонентов инфраструктуры, но и проводить анализ с учетом работы всего облака. Чтобы решить проблему, связанную с несколькими облаками, нельзя полагаться на систему мониторинга безопасности, предоставленную конкретным вайдером облака. Необходимо создать модульную систему мониторинга безопасности с открытым кодом [6].

Основными элементами архитектуры такой системы являются анализаторы данных, которые получают данные и выполняют фильтрацию, агрегацию и статистический анализ. Данные описываются как кортежи в формате RDF (Resource Description Framework). Анализаторы получают данные из множества программных агентов — сборщиков данных, включающих существующие инструменты мониторинга безопасности провайдеров облаков, на базе которых развернут облачный сервис. Конфигурация выполняется с помощью мощного языка правил, позволяющего пользователю однократно указывать платформу, определяя модель программы [7]. По единому правилу пользователь сможет настроить

то, что и как собирать данные, какие сборки должны выполняться, какое состояние нужно проверить и какие действия следует выполнить. Анализаторы данных рассчитывают исходные показатели и предоставляют их для специалистов по мониторингу или других анализаторов данных высшего уровня [8]. Визуализированные данные мониторинга безопасности используются для принятия решений в ответ на некоторые события. Облачные сервисы являются динамическими системами, поэтому система мониторинга безопасности нуждается в эластичности, необходимой для перенастройки и обновления внутренней модели мониторинга безопасности в соответствии с изменениями состояния сервиса. Такая эластичность получается путем предоставления сборщикам данных доступа к центральному серверу и регистрации на нем информации о контролируемых ими ресурсах. Сборщики данных должны периодически контактировать с сервером [9]. В случае, если за определенный период времени сборщик данных не предоставляет информацию, соответствующий контролируемому им ресурс удаляется из внутренней модели мониторинга безопасности и считается недоступным. Поскольку подключение всегда происходит от сборщиков данных к серверу, нет необходимости воплощать в себя стратегии маршрутизации и прослушивания портов на стороне клиента. Это позволит иметь меньше требований к провайдерам облаков, отвечающих за размещение систем мониторинга безопасности. Метрики мониторинга безопасности сами по себе не дают понимания, откуда поступают данные и как повысить их достоверность, система мониторинга безопасности должна придать семантическое значение всем компонентам облачного сервиса и отношениям между ними, создав модель мониторинга безопасности. К примеру, различные провайдеры облаков моделируются таким образом, чтобы можно было вычислить совокупность данных по всем облакам. Модель мониторинга безопасности синхронно поддерживается распределенными сборщиками данных, работающими в контролируемых облаках [10].

Для мониторинга безопасности работы современных облачных сервисов используется в качестве интегрального показателя эффективности метрика CMRR (Committed Monthly Recurring Revenue). Это совокупная стоимость всех текущих контрактов за месяц, учитывающая текущие контракты на использование сервиса, а также учет подписанных клиентами, но не исполненных контрактов. Важную роль также играет учет метрики «Churn», то есть вычисление прибыли, которая будет недополучена в результате выбытия клиентов сервиса. Для расчета данных показателей необходимо вести учет текущих операций, приобретение новых и убытие старых клиентов сервиса, то есть собирать данные по авторизации клиентов сервиса, вести учет вре-

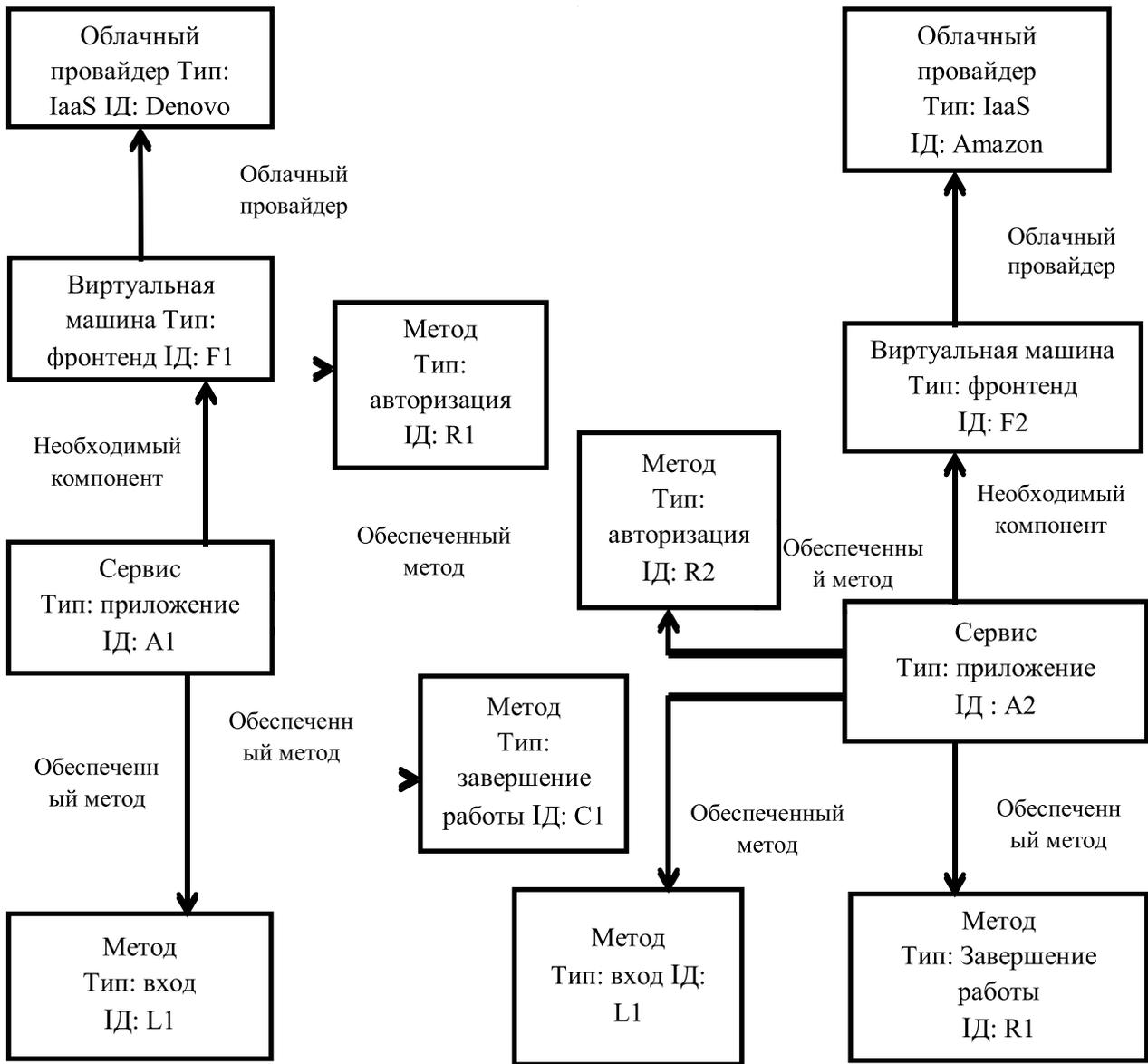


Рис. 1. Модель мониторинга безопасности многооблачного сервиса электронной торговли

мени их входа на сервис и завершение работы с ним. На рис. 1 показан пример модели мониторинга безопасности простого сервиса электронной торговли, развернутого на двух разных облаках (Denovo и Amazon), которая обеспечивает три разных метода мониторинга безопасности (авторизация, вход и завершение работы клиента) [11].

Конфигурация системы мониторинга безопасности облачного сервиса, развернутого в нескольких облаках, разрабатывается с помощью правил мониторинга безопасности, которые состоят из рекомендаций, разработанных инженером QoS (Quality of service, качество обслуживания) и описывают метрики мониторинга безопасности независимо от облака развертывания

[12]. Правила мониторинга безопасности могут автоматически выводиться из требований, указанных в соглашении по качеству обслуживания, определенных при проектировании сервиса, а затем настроиться в соответствии с потребностями пользователей. Правила мониторинга безопасности состоят из 5 основных блоков [13]:

1. CM (цели мониторинга безопасности) — перечень ресурсов облачного сервиса, подлежащих мониторингу и определяемых классом, типом или идентификатором;
2. MM (метрики мониторинга безопасности) — данные, которые собираются согласно метрике мониторинга безопасности, вместе с идентификатором программного агента — сборщика данных;

Таблица 1. Пример правил мониторинга безопасности многооблачного сервиса электронной торговли

Правила мониторинга	Основное правило (RT)	Детальное правило «детализация ОЗУ» (DR)
параметры	timeWindow: 60; timeStep: 60; включено: true	timeWindow: 10; timeStep: 10; включено: false
CM	тип: авторизация; тип: вход; тип: завершение работы	тип: фронтенд
MM	название метрики: время отклика; параметр: вероятность выборки: 1	название метрики: утилизация RAM; параметр: время выборки: 5
MA	вычислить 99-й процентиль	вычислить среднее значение; сгруппировать по вирту- альным машинам
S	метрика > 10000	-
D	создать новую метрику: нарушение правила RT; запустить другое правило: DetailedRAM	Создать новую метрику «Средняя нагрузка ОЗУ» для каждой виртуальной машины

3. MA (совокупность метрик мониторинга безопасности) — где рассчитываются суммы, максимальные, минимальные и средние значения, проценты собранных данных, а также происходит группирование данных по определенному классу ресурсов (например, по облачному провайдеру или виртуальной машине);
4. S (состояние) — условие, подлежащее проверке, может быть выражено агрегированным показателем, выведенным на базе показателей более низкого уровня;
5. D (действие) — выполняемая функция при выполнении условия S (если есть).

В табл. 1 показаны примеры двух правил, определяющих конфигурацию системы мониторинга безопасности многооблачного сервиса электронной торговли [14].

Основное правило (RT) предписывает системе мониторинга безопасности собирать время отклика всех трех методов, вычислять 99-й процентиль каждые 60 секунд и проверять, ниже ли он 10 с.

В случае, если вычислительная метрика превышает 10 с, платформа выведет новую метрику «нарушения правила RT», которая будет доступна как вход для других правил и наблюдателей, которая позволит запустить другое правило, которое называется «Детализация ОЗУ» [15, 16]. Это второе правило подчеркивает, что система мониторинга безопасности должна собирать данные о средней загруженности оперативной памяти на всех виртуальных машинах фронтенда сервиса и создает новую метрику с именем «Средняя нагрузка ОЗУ» для каждой виртуальной машины [17]. Правило «Детализация ОЗУ» не является активным в исходной

конфигурации системы мониторинга безопасности (его атрибут включения определен как false). Это означает, что данные, которые ему нужны, не собираются. Когда произойдет его активация основным правилом «RT» (т.е. если время отклика во время мониторинга безопасности медленное), сборщики данных получают инструкцию начать сбор и отправку необходимых показателей к анализатору данных, который может затем выполнить правило [18–20]. Благодаря внедрению данного механизма мониторинга можно увеличивать или уменьшать уровень мониторинга безопасности облачного сервиса и соответствующие затраты на выполнение всей системы мониторинга безопасности в зависимости от состояния сервиса.

Резюмируя рассмотрение концептуальных основ построения и функционирования системы мониторинга безопасности сложных облачных сервисов, можно выделить, что предложенный модульный подход к построению системы мониторинга безопасности поможет специалистам сосредоточиться на абстрактных, не закрепленных за конкретным облачным провайдером, концепциях при настройке системы контроля в нескольких облаках. При формировании структуры системы мониторинга безопасности облачного сервиса предложенные методы позволят формировать и контролировать одновременно соглашение об уровне сервиса (SLA) вместе с системой метрик и показателей эффективности работы облачных сервисов.

Исследование мониторинга безопасности облачных сервисов важно не только потому, что они представляют собой мощный ресурс повышения эффективности работы отдельно взятых предприятий и компаний, а также и по причинам, что их развитие является важным индикатором состояния информационного общества.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Esposito C., De Santis A., Tortora G., Chang H., Choo K-KR. Blockchain: A panacea for healthcare cloud-based data security and privacy? // *IEEE Cloud Computing*. № 5(1). 2018. Pp. 31–7.
2. Whaiduzzaman M., Gani A., Anuar N.B., Shiraz M., Haque M.N., Haque I.T. Cloud service selection using multicriteria decision analysis // *The Scientific World Journal*. № 2014. 2014. Pp. 459375.
3. Chow F., Muftu A., Shorter R. Virtualization and cloud computing in dentistry // *Journal of the Massachusetts Dental Society*. № 63(1). 2014. Pp. 14–7.
4. Mrozek D. A review of Cloud computing technologies for comprehensive microRNA analyses // *Computational biology and chemistry*. № 88. 2020. Pp. 107365.
5. Sajid A., Abbas H. Data Privacy in Cloud-assisted Healthcare Systems: State of the Art and Future Challenges // *Journal of medical systems*. № 40(6). 2016. Pp. 155.
6. Moura J., Hutchison D. Review and analysis of networking challenges in cloud computing // *Journal of Network and Computer Applications*. № 60. 2016. Pp. 113–29.
7. Tabrizchi H., Rafsanjani M.K. A survey on security challenges in cloud computing: issues, threats, and solutions // *The Journal of Supercomputing*. № 1. 2020. Pp. 40.
8. Mehraeen E., Ghazisaeeidi M., Farzi J., Mirshekari S. Security challenges in healthcare cloud computing // *Systematic review*. № 9(3). 2016. Pp. 157.
9. Dashti W., Qureshi A., Jahangeer A., Zafar A. Security challenges over cloud environment from service provider prospective // *Cloud Computing and Data Science*. № 12. 2020. Pp. 20.
10. Ogiela L., Ogiela M.R., Ko H. Intelligent Data Management and Security in Cloud Computing // *Sensors*. № 20. 2020. Pp. 12.
11. Tariq M.I., Ahmed S., Memon N.A., Tayyaba S., Ashraf M.W., Nazir M., et al. Prioritization of Information Security Controls through Fuzzy AHP for Cloud Computing Networks and Wireless Sensor Networks // *Sensors*. № 20. 2020. Pp. 5.
12. Wu B., Wang C., Yao H. Security analysis and secure channel-free certificateless searchable public key authenticated encryption for a cloud-based Internet of things // *PloS one*. № 15(4). 2020. Pp. e0230722.
13. Shakil K.A., Zareen F.J., Alam M., Jabin S. A biometric authentication and data management system for healthcare data in cloud // *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*. № 32(1). 2020. Pp. 57–64.
14. Giri S., Shakya S. Cloud Computing and Data Security Challenges: A Nepal Case // *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 67(3). 2019. Pp. 146–150.
15. Bazm M.M., Lacoste M., Südholt M., Menaud J.M. Isolation in cloud computing infrastructures: new security challenges // *Annals of Telecommunications*. № 74(3). 2019. Pp. 197–209.
16. Singh A., Chatterjee K. Cloud security issues and challenges // *J Netw Comput Appl*. № 79(C). 2017. Pp. 88–115.
17. Kumar P.R., Raj P.H., Jelciana P. Exploring data security issues and solutions in cloud computing // *Procedia Computer Science*. № 125. 2018. Pp. 691–7.
18. Subramanian N., Jeyaraj A. Recent security challenges in cloud computing // *Computers & Electrical Engineering*. № 71. 2018. Pp. 28–42.
19. Stergiou C., Psannis K., Gupta B., Ishibashi Y. Security, privacy & efficiency of sustainable Cloud Computing for Big Data & IoT // *Sustain Comput Informatics Syst*. № 19. 2018. Pp. 174–84.
20. Abrar H., Hussain S.J., Chaudhry J., Saleem K., Orgun M.A., Al-Muhtadi J., et al. Risk analysis of cloud sourcing in healthcare and public health industry // *IEEE Access*. № 6. 2018. Pp. 19140–50.

© Бурыгин Вячеслав Михайлович ( slashburygin@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МОДЕЛЬ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ<sup>1</sup>

## A MODEL OF MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION OF THE DISTRIBUTION OF INFORMATION FLOWS IN TELECOMMUNICATION NETWORKS

**K. Gaipov  
I. Krikunov  
A. Demicheva**

*Summary.* In this article, the solution of the problem of two-criteria optimization of the distribution of information flows is considered, the minimum of the total time spent by applications in the buffer of a telecommunications device and the minimum of total losses as a result of buffer overflow act as optimality criteria. Both optimality criteria are mutually exclusive, since an increase in one leads to a decrease in the other. The solution of this problem is shown by the example of a network with two possible routes using the tools of the MatLab mathematical modeling environment. Mathematical modeling was carried out by two methods: the first option using a genetic algorithm and two optimization parameters, the second option involves the use of the method of linear convolution of optimized functions and the use of traditional gradient algorithms for finding the extreme value of the objective function.

*Keywords:* multiobjective optimization, genetic algorithm, linear convolution algorithm, Pareto front.

**Гаипов Константин Эдуардович**

Ведущий научный сотрудник научной лаборатории  
Спутниковые телекоммуникационные системы,  
кандидат тех. наук, Сибирский государственный  
университет науки и технологии им. академика  
М.Ф. Решетнева

**Крикунов Илья Леонидович**

Младший научный сотрудник научной  
лаборатории Спутниковые телекоммуникационные  
системы, Сибирский государственный университет  
науки и технологии им. академика М.Ф. Решетнева

**Демичева Алена Алексеевна**

Младший научный сотрудник научной  
лаборатории Спутниковые телекоммуникационные  
системы, Сибирский государственный университет  
науки и технологии им. академика М.Ф. Решетнева  
gaipovke@yandex.ru

*Аннотация.* В данной статье рассматривается решение задачи двухкритериальной оптимизации распределение информационных потоков, в качестве критериев оптимальности выступают минимум суммарного времени нахождения заявок в буфере телекоммуникационного устройства и минимум суммарных потерь в результате переполнения буфера. Оба критерия оптимальности находятся во взаимном исключении, так как увеличение одного приводит к уменьшению другого. Решение данной задачи показано на примере сети с двумя возможными маршрутами с использованием инструментов среды математического моделирования MatLab. Математическое моделирование проводилось двумя методами: первый вариант с использованием генетического алгоритма и двумя параметрами оптимизации, второй вариант подразумевает использование метода линейной свёртки оптимизируемых функций и использование традиционных градиентных алгоритмов поиска экстремального значения целевой функции.

*Ключевые слова:* Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, генетический алгоритм, алгоритм линейной свертки, фронт Парето.

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» СибГУ им. М.Ф. Решетнева

## Введение

**В** современном мире все больше распространяются задачи, когда становится невозможно ограничиться использованием единственного критерия, т.к. особой ценностью обладают сразу несколько качественных факторов. Именно благодаря такому изобилию задач с несколькими критериями, теория многокритериальной оптимизации увеличивает свою значимость.

Исходя из этих данных, можно сформулировать определение многокритериальной оптимизации или МКО. Многокритериальная оптимизация — это одновременная оптимизация минимум двух (и более) конфликтующих между собой целевых функций в заданной области определения. При этом существует ряд конкурирующих свойств, таких как: цена-качество, задержка-потери и многие другие [1].

При этом осуществление данного процесса невозможно без лица, которое принимает конечное решение, им может являться человек или целый коллектив. Данное человека называют лицом, принимающим решение (ЛПР). Ответственность за выбор того или иного решения и его последствия несет ЛПР.

Допустимым или оптимальным является такое решение, которое больше остальных соответствует желаниям, целям или интересам лица, принимающего решение. Как правило, цель ЛПР часто получается выразить в максимизации или минимизации целевой функции, заданной на множестве допустимых решений (множество  $X$ ). Как итог, оптимальным называется  $K(X)$  — множество наилучших решений, принадлежащее множеству допустимых решений.

Тогда следует рассмотреть случай, когда перед оператором связи ставится следующая задача: от источника информации  $S$  необходимо обеспечить передачу некоторого объема данных  $V$  до приемника  $R$ . В качестве критериев оптимальности будут использоваться время задержки пакетов данных и потеря информации на маршрутизаторах. Будем считать, что функциональные зависимости среднего времени задержки и вероятности потерь являются известными. В данном случае, функциональная зависимость будет определяться статистическими характеристиками потока, проходящего через телекоммуникационное устройство, к которому подключен канал связи, размеру буфера данного устройства, а также скоростью передачи данных по каналам связи.

Для получения математической модели распределения трафика по сети, сеть удобнее всего изобразить

в виде направленного графа. Каждое направленное ребро графа будет соответствовать направлению потока данных, узлы графа будут соответствовать моделям телекоммуникационных устройств. На рисунке 1 продемонстрирована модель сети, состоящей из двух узлов коммутации ( $R1$  и  $R2$ ) и пары источник-приемник ( $S$  и  $R$ ).

Маршрутизаторы  $R1$  и  $R2$  имеют одинаковую пропускную способность  $C$ , равную 20 единицам, однако длина буфера  $m$  у маршрутизатора  $R2$  в разы больше, чем у  $R1$ . Благодаря этому значение задержек и потерь на маршрутизаторах будет существенно отличаться, что позволит создать множество различных допустимых решений  $X$ .

## Решение задачи

Задачи многокритериальной оптимизации имеют множество чрезвычайно различных способов решения. Существует несколько способов классификации этих методов [2, 3]. Во-первых, можно использовать методы сведения многих критериев к единственному, т.е. введением неких весовых коэффициентов для каждого из критериев таким образом, что более важный критерий получает более высокий вес (метод линейной свертки, метод идеальной точки и др. [4–7]). Во-вторых, можно решать задачи МКО с помощью одного признанного наиболее важным критерия, остальные же критерии при этом играют роль дополнительных ограничений. И, наконец, использовать упорядочение заданного множества критериев и последовательная оптимизация по каждому из них (метод последовательных уступок [8]).

Так же стоит упомянуть, что критерии оптимальности могут быть нескольких видов:

- ◆ нейтральные;
- ◆ находящиеся в согласовании друг с другом;
- ◆ конкурирующие между собой.

Для первого и второго типа критериев оптимизация системы может быть выполнена отдельно по каждому отдельному показателю. Для критерия третьего вида достижение потенциально возможного значения каждого показателя в отдельности может быть невыполнимо. При этом может быть достигнут лишь согласованный оптимум противоречивых между собой целевых функций (оптимум по критерию Парето [9]). Такой оптимум означает, что достигается потенциально возможное значение каждого показателя качества в отдельности без ухудшения других показателей качества всей системы. При этом дальнейшее усиление одного из параметров может быть достигнуто только за счёт ухудшения других критериев качества [10]. Потери пакетов в сети

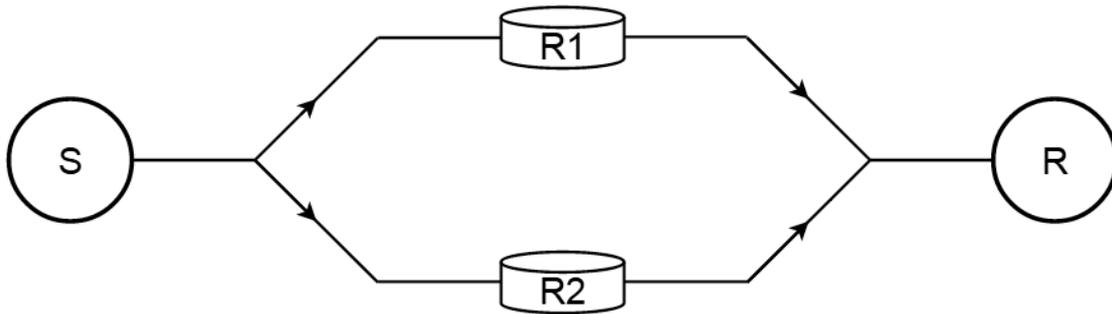


Рис. 1. Структура сети

```

1
2 -   A = [];
3 -   B = [];
4 -   Aeq = [1 1];
5 -   Beq = 30;
6 -   lb = [0; 0];
7 -   ub = [];
8 -   c = [];
9 -   ceq = [];
10
  
```

Рис. 2. Система ограничений для представленной топологии

и время задержки пакетов, используемые в работе в качестве параметров оптимизации, являются наглядным примером критериев, конкурирующих друг с другом.

В данной работе будут рассмотрены решения поставленной задачи с помощью программы MatLab R2015b с подключённым пакетом дополнений «Optimization Toolbox». В первом случае воспользуемся численным методом решения задач МКО, использующим функцию *gamultiobj*, в основе которой задействован контролируемый элитарный генетический алгоритм (вариант NSGA-II [11]). Во втором случае будет произведена линейная свертка критериев по методу, описанному в [7, с. 75–76] и дальнейшее решение задачи однокритериальной (одномерной) оптимизации с помощью функции *fmincon*. Результатом выполнения для каждого способа должно быть получено множество  $K(X)$  — фронт Парето.

Решение данной задачи необходимо начать с задания ограничений: от источника  $S$  до получателя  $R$  должно быть передано 30 единиц информации и трафик, проходящий через каждый канал, должен быть неотрицательным (т.е. трафик должен равняться поло-

жительному значению или отсутствовать в канале). Для создания такой системы ограничений воспользуемся алгоритмом, основанным на методе Галлагера [12]. Его особенностью выступает то, что в качестве независимых переменных выступают беспетельные маршруты — набор каналов, соединяющих источник с получателем трафика, без повторения уже задействованных ранее каналов связи. Метод поиска всех беспетельных маршрутов на графе описан в [13].

Тогда в данной задаче в качестве переменных  $x_1$  и  $x_2$  будут использоваться значения трафика, передаваемого по маршрутам, включающим маршрутизаторы  $R1$  и  $R2$  соответственно. После этого, система ограничений примет следующий вид:

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}; \\ x_1 + x_2 = 30; \end{cases}$$

Далее приведем данную систему к тому виду, которая будет пригодна для функций *gamultiobj* и *fmincon*. Для этого требуется подставить наши ограничения в следующую модель:

```

function f = myfunobj(x)
m1 = 3;
m2 = 20;
C = 20;
if x(1) == 0
f(2) = (((x(2)/C)^2)*(1-(x(2)/C)^m2)*(m2+1-m2*(x(2)/C)))/((1-(x(2)/C))*(1-(x(2)/C)^(m2+2)))/x(2));
else
if x(2) == 0
f(2) = (((x(1)/C)^2)*(1-(x(1)/C)^m1)*(m1+1-m1*(x(1)/C)))/((1-(x(1)/C))*(1-(x(1)/C)^(m2+2)))/x(1));
else
f(2) = (((x(1)/C)^2)*(1-(x(1)/C)^m1)*(m1+1-m1*(x(1)/C)))/((1-(x(1)/C))*(1-(x(1)/C)^(m2+2)))/x(1) + ...
(((x(2)/C)^2)*(1-(x(2)/C)^m2)*(m2+1-m2*(x(2)/C)))/((1-(x(2)/C))*(1-(x(2)/C)^(m2+2)))/x(2);
end
end
f(1) = (x(1)*(1-x(1)/C)*((x(1)/C)^m1)/(1-(x(1)/C)^(m1+1))) + (x(2)*(1-x(2)/C)*((x(2)/C)^m2)/(1-(x(2)/C)^(m2+1)));
end

```

(a)

```

function f = myfun(x)
Alpha = 1;
Beta = 1-Alpha;
m1 = 3;
m2 = 20;
C = 20;
if x(1) == 0
f(1) = (((x(2)/C)^2)*(1-(x(2)/C)^m2)*(m2+1-m2*(x(2)/C)))/((1-(x(2)/C))*(1-(x(2)/C)^(m2+2)))/x(2));
else
if x(2) == 0
f(1) = (((x(1)/C)^2)*(1-(x(1)/C)^m1)*(m1+1-m1*(x(1)/C)))/((1-(x(1)/C))*(1-(x(1)/C)^(m2+2)))/x(1));
else
f(1) = (((x(1)/C)^2)*(1-(x(1)/C)^m1)*(m1+1-m1*(x(1)/C)))/((1-(x(1)/C))*(1-(x(1)/C)^(m2+2)))/x(1) + ...
(((x(2)/C)^2)*(1-(x(2)/C)^m2)*(m2+1-m2*(x(2)/C)))/((1-(x(2)/C))*(1-(x(2)/C)^(m2+2)))/x(2);
end
end
f(2) = (x(1)*(1-x(1)/C)*((x(1)/C)^m1)/(1-(x(1)/C)^(m1+1))) + (x(2)*(1-x(2)/C)*((x(2)/C)^m2)/(1-(x(2)/C)^(m2+1)));
f = Alpha*f(1) + Beta*f(2);
end

```

(б)

Рис. 3. Подфункции критериев оптимальности для задачи МКО (а) и задачи оптимизации с помощью линейной свертки (б)

Таблица 1. Множество  $K(X)$  и значение критериев оптимальности

№ решения	$x_1$	$x_2$	$f_{\text{пот.пак.}}(x_1, x_2)$	$f_{\text{вр.зад.}}(x_1, x_2)$
1	11,41994	18,57906	1,40455	0,403718
2	12,75212	17,24704	1,563612	0,30767
3	12,96593	17,03433	1,614644	0,294307
4	13,75319	16,24595	1,847486	0,250524
5	14,45155	15,54766	2,102013	0,21915
6	16,21436	13,78537	2,881677	0,164711
7	18,24549	11,75429	3,953767	0,129101
8	19,36015	10,63955	4,606612	0,116139
9	22,89733	7,102288	6,932692	0,089474
10	24,22552	5,774165	7,891457	0,082577
11	25,66694	4,333979	8,976024	0,076176
12	26,31041	3,689394	9,47359	0,073592
13	27,11298	2,886868	10,10483	0,070575
14	29,21737	0,783625	11,8105	0,063513
15	30,00000	0,00001	12,46154	0,061137

$$\begin{cases} A \cdot x \leq B \\ A_{eq} \cdot x = B_{eq} \\ c(x) \leq 0 \\ c_{eq}(x) = 0 \\ lb \leq x \leq ub \end{cases}$$

С помощью матриц  $A$ ,  $A_{eq}$  и векторов  $B$ ,  $B_{eq}$  задаются линейные равенства и неравенства. Набор нижних и верхних границ для вектора переменных  $x$  задают  $lb$  и  $ub$ . Нелинейные ограничения задаются функциями  $c(x)$  и  $c_{eq}(x)$ , которые возвращают векторные значения. В поставленных условиях, с помощью  $A_{eq}$  и  $B_{eq}$  мы зададим условия требуемого объема передаваемых данных  $V$ , а неотрицательное значение трафика, передаваемого по каналам, обеспечим с помощью нижней границы  $lb$ . Так же это можно было бы сделать в виде линейного неравенства  $A \cdot x \leq B$ , но использование нижней границы эффективнее и удобнее для решения, т.к. задействует меньший объем памяти. В итоге, система ограничений для решения поставленной задачи в среде MatLab представлена на рисунке 2.

В качестве целевых функций будут использоваться формулы временных задержек и потерь пакетов для системы массового обслуживания M/M/1/N, представленные в [14].

$$f_{\text{вр.зад.}} = \frac{L_{\text{очереди}}}{X} = \frac{Ro^2 \cdot (1 - Ro^m \cdot (m + 1 - m \cdot Ro))}{(1 - Ro) \cdot (1 - Ro^{m+2}) \cdot X}$$

$$f_{\text{пот.пак.}} = P_{\text{пот.пак.}} \cdot X = \frac{(1 - Ro) \cdot Ro^m}{1 - Ro^{m+1}} \cdot X$$

где  $m$  — размер буфера на телекоммуникационном устройстве;

$Ro$  — отношение интенсивности поступающего трафика к интенсивности обработки трафика ( $Ro_i = X_i / C_i$ ).

Теперь, исходя из представленных выше формул, составляются две подфункции для расчета требуемых критериев оптимальности. В первом случае две функции являются отдельными элементами и рассчитываются отдельно. Для второго метода будет составлена одна целевая функция — сумма функции временных задержек  $f_{\text{вр.зад.}}$  и функции потери пакетов  $f_{\text{пот.пак.}}$  с некоторыми весовыми коэффициентами  $\alpha$  и  $\beta$  соответственно. Это даст возможность регулировать значения данных коэффициентов и, следовательно, увеличить количество решений для построения фронта Парето. Следует отметить, что функция временных задержек не определена при  $x_i = 0$ . В таком случае, будем считать, что значение задержек при нулевом трафике по каналу связи так же равны нулю. Результат реализации подфункции для задачи МКО представлен на рисунке 3(а), а для задачи с использованием линейной свертки на рисунке 3(б).

Заключительным этапом работы выделим поиск решения и обработка результатов. При решении задачи с помощью функции *gamultiobj* воспользуемся следующими настройками: общее количество поколений устанавливаем равным 200, селекция производится по методу турнирного выбора из двух представительей, доля воспроизводства в следующем поколении устанавливается равной 80%, а доля мутации методом

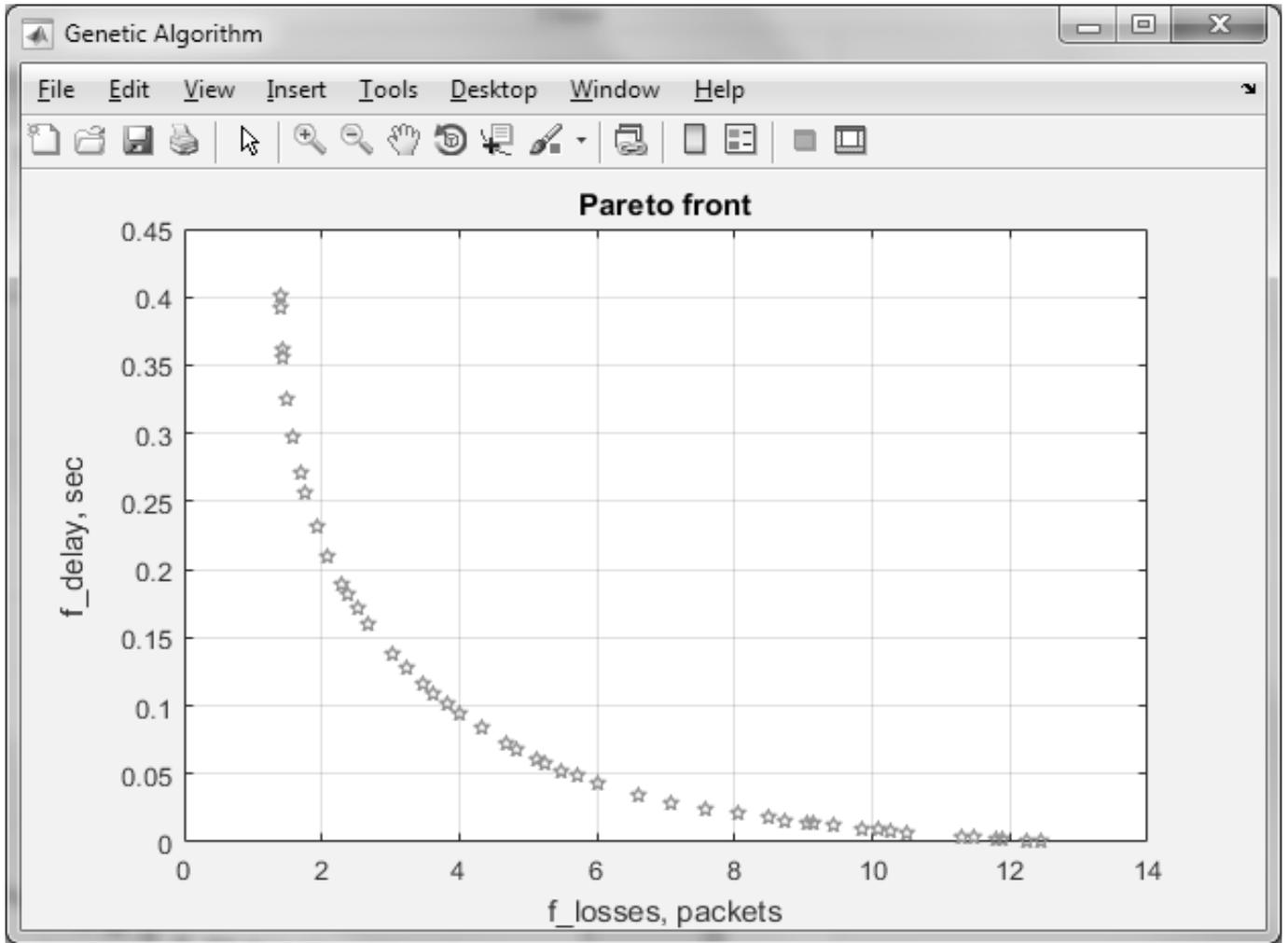


Рис. 4. Фронт Парето для задачи МКО

адаптивной случайной генерации составляет 20% (погрешность вычисления нового поколения установлена по умолчанию равной 0,001). Значения переменных  $x_1$  и  $x_2$ , а также функций  $f_{вр.зад.}$  и  $f_{пот.пак.}$  выведены в таблицу 1.

Воспользовавшись встроенной функцией *gaplotpareto* можно отобразить фронт Парето для полученных ранее результатов. В качестве оси абсцисс на графике воспользуемся функцией потерь пакетов, а в качестве оси ординат — функцию временных задержек. Тогда на рисунке 4 можно увидеть фронт Парето для задачи МКО, полученный с помощью генетического алгоритма.

Для решения задачи с помощью метода линейной свертки, воспользуемся встроенной функцией *fmincon*. Эта функция позволяет определять минимальные значения в задачах с ограничениями. В этом примере параметры  $f_{пот.пак.}$  и  $f_{вр.зад.}$  подобраны таким образом, чтобы свести конкурирующие между собой критерии

оптимальности к «условному» минимуму. И хотя функция *fmincon* непригодна для решения задач МКО, но она подходит для решения задач однокритериальной оптимизации. В качестве стандартных настроек были выбраны следующие пункты: в качестве алгоритма для решения выбран *active set algorithm*, т.к. он хорошо работает в маломасштабных и среднемасштабных задачах; количество итераций установлено равным 400, точность приращения значения аргументов и самой целевой функции равно  $1e^{-6}$ . Результаты работы алгоритма для различных параметров  $\alpha$  и  $\beta$  представлены в таблице 2.

Так же, как и для задачи МКО, построим фронт Парето для оптимизации задачи линейной свертки. На рисунке 5 можно увидеть фронт Парето для задачи однокритериальной оптимизации. На этом графике отчетливо видно, что оба решения идентичны, но в отличие от автоматически сгенерированного решения численным методом, метод линейной свертки имеет меньшее количество точек на графике. Это связано

Таблица 2. Результаты решения для задачи одномерной оптимизации

№ решения	$x_1$	$x_2$	$\alpha$	$\beta$	$f_{\text{пот.пак.}}(x_1, x_2)$	$f_{\text{вр.зад.}}(x_1, x_2)$
1	11,4210	18,5790	0	1	1,4048	0,4012
2	11,5204	18,4796	0,2	0,8	1,4058	0,3934
3	11,6878	18,3122	0,4	0,6	1,4118	0,3803
4	11,8224	18,1776	0,5	0,5	1,4205	0,3699
5	12,0243	17,9757	0,6	0,4	1,4396	0,3546
6	12,3562	17,6438	0,7	0,3	1,4861	0,3303
7	12,9827	17,0173	0,8	0,2	1,6189	0,2880
8	14,4920	15,5080	0,9	0,1	2,1179	0,2076
9	16,7105	13,2895	0,95	0,05	3,1284	0,1322
10	17,7146	12,2854	0,96	0,04	3,6582	0,1075
11	19,0986	10,9014	0,97	0,03	4,4496	0,0790
12	20,7462	9,2538	0,98	0,02	5,4749	0,0529
13	23,2399	6,7601	0,99	0,01	7,1760	0,0282
14	26,4545	3,5455	0,995	0,005	9,5860	0,0112
15	30,0000	0,0000	1	0	12,4615	0,0001

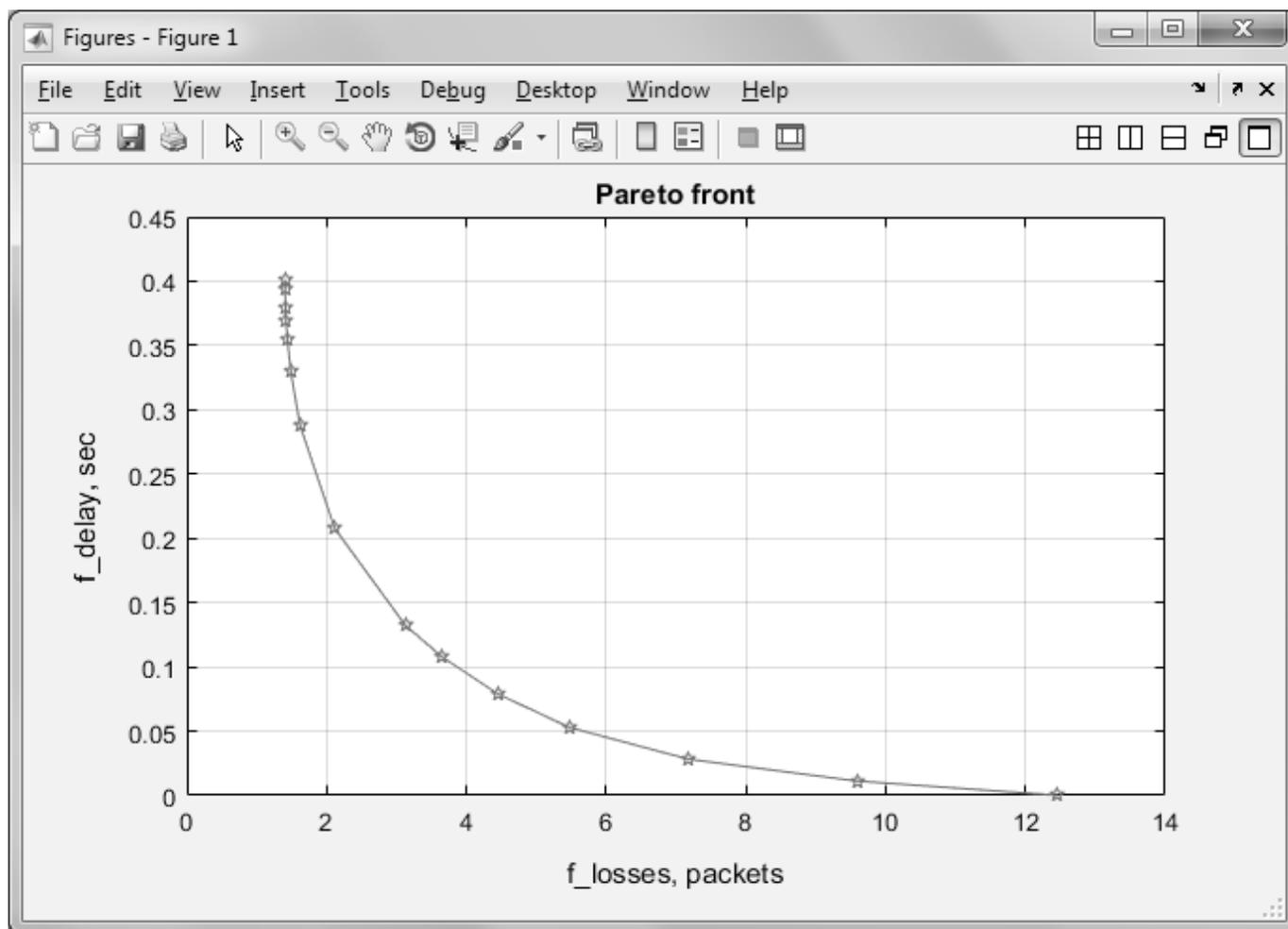


Рис. 5. Фронт Парето для задачи линейной свёртки

с вариативностью выбора параметров  $\alpha$  и  $\beta$ , и может быть изменено ЛПР.

## Выводы

Полученные результаты показывают, что поставленная задача решается неоднозначно и необходимы дополнительные критерии, на основании которых можно выбрать подходящее решение, зависящие от типа передаваемой информации. Для таких целей можно использовать рекомендации международного союза электросвязи Y1540 и Y1541 [15], где приведены нормы для различного типа трафика.

Использование предложенных методик расчёта может быть использовано в программах по автоматизированному проектированию телекоммуникационных сетей совместно с алгоритмами формирования математических моделей оптимального распределения трафика [16, 17].

Использование двух подходов к решению многокритериальных задач позволят их применять к математическим моделям распределения трафика и параметрического синтеза, где оптимизируемые переменные могут принимать, как непрерывные значения, так и дискретные.

## ЛИТЕРАТУРА

- Богданова Полина Александровна, Сахаров Дмитрий Михайлович, Васильева Татьяна Владимировна. «Обзор методов многокритериальной оптимизации в задачах принятия решения» Инновационные аспекты развития науки и техники, № 6, 2021, с. 153–157.
- Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: учеб. пособие. М.: МАКС Пресс, 2008. 197 с.
- Растринин Л.А., Эйдук Я.Ю. Адаптивные методы многокритериальной оптимизации // Автоматика и телемеханика. 1985. № 1. С. 5–26.
- J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott (eds.). Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys, Springer, 2004, 1085 p.
- А.Б. Петровский. Теория принятия решений, Академия, М., 2009, 400 с.
- В.Д. Ногин. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход, Физматлит, М., 2005, 176 с.
- В.Д. Ногин. «Линейная свертка критериев в многокритериальной оптимизации», Искусственный интеллект и принятие решений, 2014, № 4, с. 73–82.
- Горбунов В.М. Теория принятия решений: учебное пособие. Томск: Изд-во Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2010, 67 с.
- Карпенко А.П., Семенихин А.С., Митина Е.В. Популяционные методы аппроксимации множества Парето в задаче многокритериальной оптимизации. Обзор // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 4. Режим доступа: <http://www.techomag.edu.ru/doc/363023.html> (дата обращения 08.07.2012).
- Чеботарёва Дарья Васильевна, Безрук Валерий Михайлович. «Автоматизация многокритериального выбора оптимального решения при планировании сетей мобильной связи» Радиоэлектроника и информатика, № 1 (64), 2014, с. 20–24.
- Deb, Kalyanmoy. «Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms», John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, England, 2001.
- Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. М.: Мир, 1989.
- Демичев М.С., Гаипов К.Э. — Алгоритм поиска беспетельных маршрутов // Программные системы и вычислительные методы. — 2020. — № 4. — С. 10–25. DOI: 10.7256/2454-0714.2020.4.33605
- Вишневецкий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных систем. М.: Техносфера. 2003. 512 с.
- Владимиров, С.А. Реализация методики оценки операторских сетей на соответствие рекомендациям ИТУ-Т Y.1540, Y.1541 / С.А. Владимиров, И.С. Алексеев, А.С. Воронов // Информационные технологии и телекоммуникации. — 2018. — Т. 6. — № 3. — С. 52–63.
- Свидетельство № 2022684654. Оптимальное распределение трафика сети массового обслуживания на основе контурного метода по критерию минимума потерь: программа для ЭВМ / К.Э. Гаипов, И.Л. Крикунов, А.А. Демичева (RU); правообладатель ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева». № 2022683987; заявл. 08.12.2022; опубл. 15.12.2022. 26,626 КБ
- Свидетельство № 2022684788. Оптимальное распределение трафика сети массового обслуживания на основе узлового метода по критерию минимума потерь: программа для ЭВМ / К.Э. Гаипов, И.Л. Крикунов, А.А. Демичева (RU); правообладатель ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева». № 2022684267; заявл. 08.12.2022; опубл. 16.12.2022. 22,928 КБ

© Гаипов Константин Эдуардович,

Крикунов Илья Леонидович, Демичева Алена Алексеевна (gaipovke@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПОСТРОЕНИЕ АДАПТИВНОЙ НЕЧЕТКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ МНОГОЗВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ

## CONSTRUCTING AN ADAPTIVE FUZZY NEURAL NETWORK FOR SOLVING THE INVERSE KINEMATICS PROBLEM OF THE OF MULTILINK MECHANISMS

**P. Ganin  
A. Kobrin**

*Summary.* The paper considers the construction of an adaptive fuzzy neural network for a motion control system of a multi-link manipulation mechanism with a serial connection of links. It is proposed to introduce an optimality criterion based on an estimate of the reaction time and accuracy. The results of studies of the influence of network parameters on the quality of the resulting solution are presented. We consider such parameters as: the size of the training sample, the number of training epochs, the number and type of membership functions.

*Keywords:* inverse kinematics problem, adaptive fuzzy neural network, simulation, real-time control system.

**Ганин Павел Евгеньевич**

«НИУ «МЭИ», Москва  
ganinpe@gmail.com

**Кобрин Александр Исаакович**

Д.ф.-м.н., профессор, «НИУ «МЭИ», Москва

*Аннотация.* В работе рассматривается построение адаптивной нечеткой нейронной сети для системы управления движением многозвенного манипуляционного механизма с последовательным соединением звеньев. Предлагается введение критерия оптимальности на основе оценки времени реакции и точности. Приводятся результаты исследований влияния параметров сети на качество получаемого решения. Рассматриваются такие параметры как: объем обучающей выборки, количество подходов при обучении, количество и тип функций принадлежности.

*Ключевые слова:* обратная задача кинематики, адаптивная нечеткая нейронная сеть, моделирование, система управления реального времени.

### Введение

**Н**ейро-нечёткие сети (ННС) успешно применяются в решении обратной задачи кинематики для различных конструкций манипуляционных механизмов. Для конкретной конструкции манипулятора с семью (*Whole Arm Manipulator (WAM)*) и шестью (*Titan II*) степенями свободы в работе [1] были рассмотрены различные подходы к решению ОЗК: итерационные методы на основе матриц Якоби, и методы в основе которых положены генетические алгоритмы, в сравнении с адаптивными алгоритмами на основе РБФ-сетей, многослойного персептрона прямого распространения (*MLP*) и регрессионных нейронных сетей (НС) (*GRNN*). Был проведен сравнительный анализ данных алгоритмов в среде *Matlab* и сделан вывод о сокращении необходимого времени на обучение нейро-нечётких сетей и повышении точности расчетов ОЗК для сетей с одинаковым набором данных. Решение ОЗК для манипуляционного механизма *SCOROBOT ER-IV* с применением нейро-нечётких сетей было рассмотрено в работе [2], продемонстрирована возможность построения системы управления движением реального времени. Рассматривалось применение нейро-нечетких сетей для

решения ОЗК таких манипуляторов как *PUMA 560* [3,4], *PUMA 600* [5], *DeltaRobot (DOB)* [6]. В работе [7] рассматривается построение системы управления (СУ) положением для механической модели ноги человека, которая базируется на адаптивной нейро-нечёткой системе вывода. В результате были успешно получены требуемые углы сочленений для заданного положения в плоской задаче. Также рассматривалось решение ОЗК для руки человека с шестью степенями подвижности [8], данное исследование демонстрирует обеспечение возможности плавного изменения координат при выполнении задания. Ряд работ [9–11] посвящен рассмотрению решения ОЗК методами на основе ННС для конструкций манипуляторов с избыточностью.

### Построение нечеткой сети

В работе рассматривается конструкция манипуляторов с кинематической избыточностью (подробнее о построении в статье [12]), многозвенный манипуляционный механизм с последовательным соединением звеньев. Количество ННС должно соответствовать количеству искомых углов поворота звеньев манипулятора. В качестве лингвистических переменных в рам-

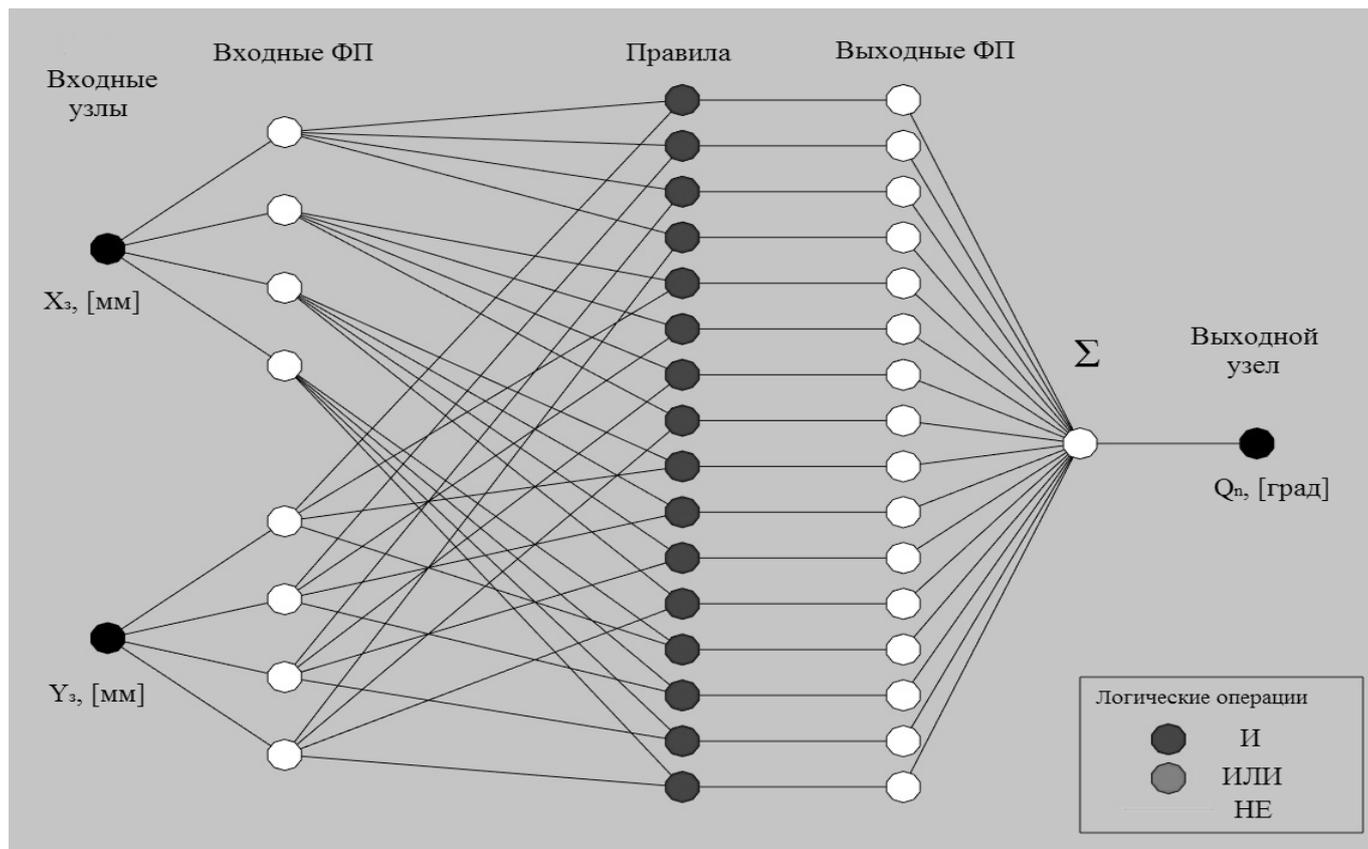


Рис. 1. Структура нечеткой нейронной сети

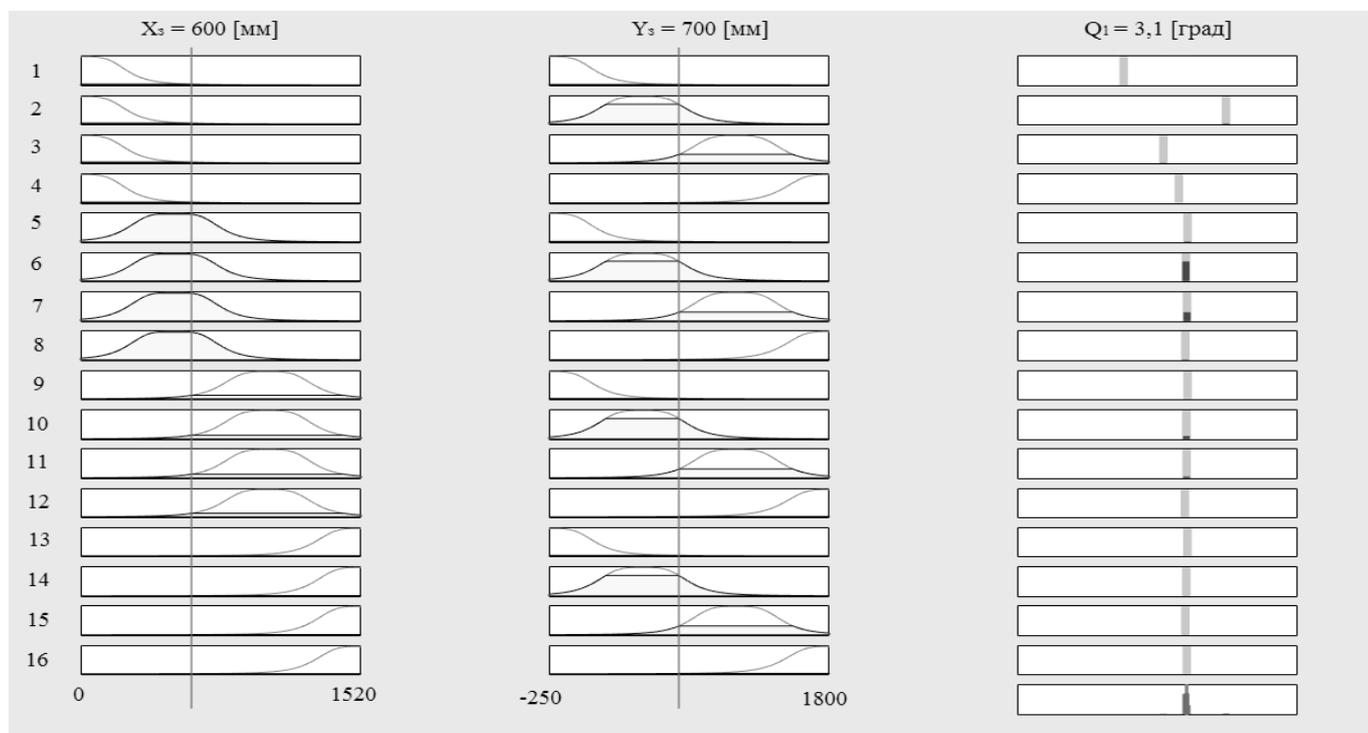


Рис. 2. Формирование вывода ННС

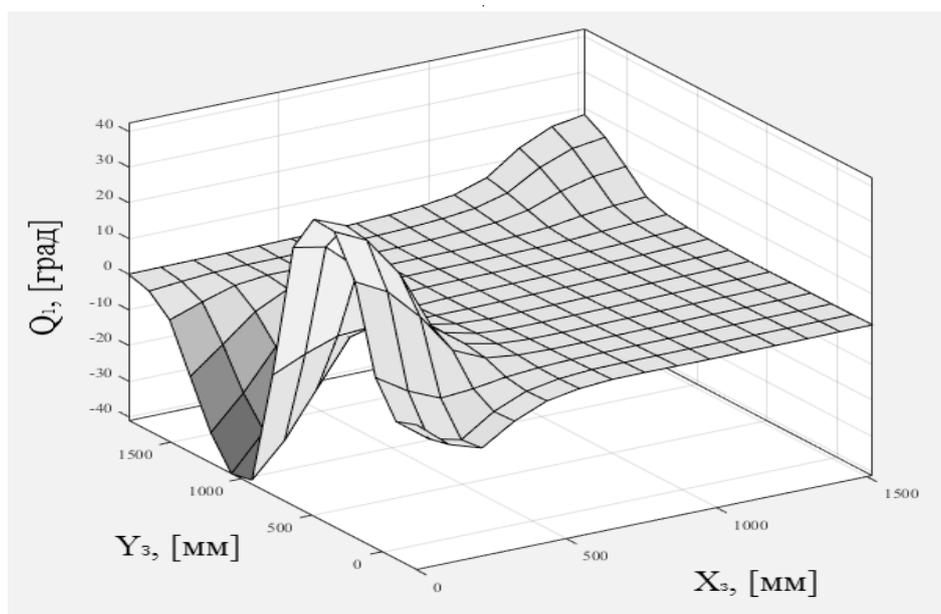


Рис. 3. Поверхность вывода ННС

ках данной задачи выступают области рабочей зоны, перекрывающие друг друга. По четыре диапазона для каждой координаты рабочего органа манипулятора. Введем следующие лингвистические переменные: <«Диапазоны по X»,  $T_x, D_x$ >, <«Диапазоны по Y»,  $T_y, D_y$ >, где  $D_x = [x_{min}; x_{max}]$ ,  $D_y = [y_{min}; y_{max}]$  — их области определения, вычисляемые из прямой задачи кинематики;  $T_x = \{T_x^1, T_x^2, T_x^3, T_x^4\}$ ,  $T_y = \{T_y^1, T_y^2, T_y^3, T_y^4\}$  — их терм-множества.

Структура используемой в работе сети представлена на рис. 1. Выходные функции принадлежности (ФП) представлены в виде линейной зависимости. С помощью нечёткого вывода описываются 16 правил, по которым осуществляется связь между заданными координатами и искомым углом поворота звена. Сравнение и принятие решения реализуется с помощью продукционных правил вида: ЕСЛИ «*посылка 1*» И «*посылка 2*», ТО «*заключение*», где «*посылка 1, 2*» и «*заключение*» являются нечеткими высказываниями.

В работе в качестве логического вывода используется алгоритм Такаги-Сугено. Алгоритм вывода включает следующие этапы:

1. Фазификация: находятся степени истинности для предпосылок каждого правила.
2. Вывод: находятся уровни отсечения для предпосылок каждого из правил с использованием операции минимума.

Дефазификация: определяется четкое значение переменной вывода методом центра тяжести.

На рис. 2 представлен графический интерфейс *Matlab Fuzzy Logic Designer* позволяющий проводить оценку вывода сети по сформированным правилам. В качестве примера представлен вывод для первого угла трехзвенной конструкции манипулятора.

На рис. 3 представлена поверхность вывода для искомого угла.

#### Исследование влияния параметров нечеткой нейронной сети

Достижение наилучших показателей работы разработанного алгоритма решения ОЗК в большой степени зависит от качества полученного начального приближения. Для определения оптимальных параметров адаптивной нечеткой нейросети были проведены серии экспериментов.

В качестве критерия оптимальности была выбрана следующая оценка:

$$\begin{cases} \min(t_{np}) \\ \Delta d_{ннс} \leq \Delta d_{ннс max}' \end{cases} \quad (1)$$

где  $t_{np}$  — время поиска решения;  $\Delta d_{ннс}$  — отклонение рабочего органа от заданной точки для найденного приближенного решения ОЗК;  $\Delta d_{ннс max}'$  — максимально допустимое отклонение.

Расчет отклонения проводился на решении прямой задачи кинематики по следующей формуле:

Таблица 1. Результаты исследований влияния объема обучающей выборки

Объем обучающей выборки, точек:	64	512	4096	32768	64000
Время на создание сети, [мс]:	8,325	9,086	7,388	11,522	10,117
Время на обучение сети, [мс]:	142,22	714,29	6574,27	120649,63	381452,97
Время реакции сети, [мс]:	0,832	1,121	0,811	0,912	0,954
<b>Максимальное отклонение <math>\max(\Delta d)</math>, [мм]:</b>	52,155	27,348	24,617	23,183	22,868
<b>Среднее отклонение <math>\text{med}(\Delta d)</math>, [мм]:</b>	19,085	11,959	11,261	10,888	10,686

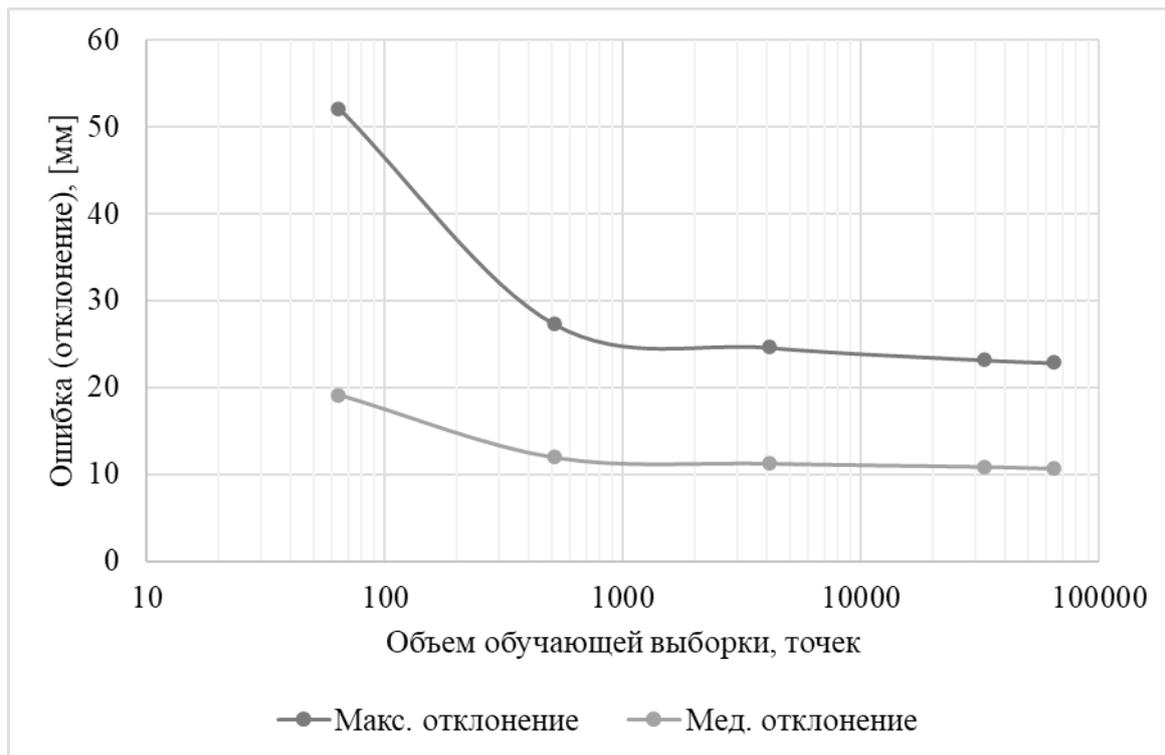


Рис. 4. График изменения ошибки (отклонения) при изменении объема обучающей выборки

$$\Delta d_{\text{ннс}} = \{x; y; z\}_z - \{x; y; z\}_{\text{ннс}}, \quad (2)$$

где  $\{x; y; z\}_z$  — заданные координаты, а

$$\{x; y; z\}_{\text{ннс}} = f_{\text{ПРК}}(\overline{Q_{\text{ннс}}}).$$

Исходя из анализа литературы и проведенных экспериментов, были приняты следующие ограничения:

$$t_{\text{пр}} \leq 5 \text{ [мс]}, \Delta d_{\text{ннс max}} = 50 \text{ [мм]}. \quad (3)$$

Методика определения параметров адаптивной нечёткой нейронной сети включает следующие шаги:

1. Определение количество функций принадлежности для узла ННС.
2. Определение требуемого объема обучающей выборки для ННС.

3. Определение типа функций принадлежности в узлах ННС.
4. Определение количества подходов при обучении.

Вся информация, которую нейронная сеть будет иметь о решении кинематических задач для манипуляционного механизма, содержится в наборе обучающих примеров. Поэтому качество обучения ННС напрямую зависит от количества и качества примеров в обучающей выборке, а также от того, насколько полно эти примеры описывают данную предметную область. В рамках данной задачи в качестве обучающей выборки используется набор данных, полученных из решения прямой задачи кинематики. В таблице 1 представлены результаты исследований, проведена оценка времени, затраченного на обучение, создание и реакцию сети,

Таблица 2. Результаты исследований влияния количества функций принадлежности ННС

Количество ФП:	2	4	8	10	15
Время на создание сети, [мс]:	6,523	11,181	11,359	14,095	20,024
Время на обучение сети, [мс]:	361,43	1360,7	17661,2	42020,354	288813,26
Время реакции сети, [мс]	0,72	0,88	1,46	1,9	33,3
Макс. отклонение, [мм]	52,669	25,434	23,855	20,407	22,481
Мед. отклонение, [мм]	48,323	20,433	20,013	18,782	21,262

Таблица 3. Результаты исследований влияния типа функции принадлежности в узлах ННС

Тип ФП:	Обобщенная колоколообразная	Гауссовская	Двухсторонняя Гауссовская	Пи-подобная	Трапециевидная	Треугольная
Время на создание сети, [мс]:	9,253	12,511	9,262	6,836	6,822	7,133
Время на обучение сети, [мс]:	1444,491	1357,55	1551,19	1311,4	1236,535	1216,383
Время реакции сети, [мс]	0,863	0,872	0,881	0,861	0,867	0,862
Макс. отклонение, [мм]	26,259	25,434	47,935	53,15	51,281	30,498
Мед. отклонение, [мм]	11,496	11,198	18,073	20,784	19,435	12,322

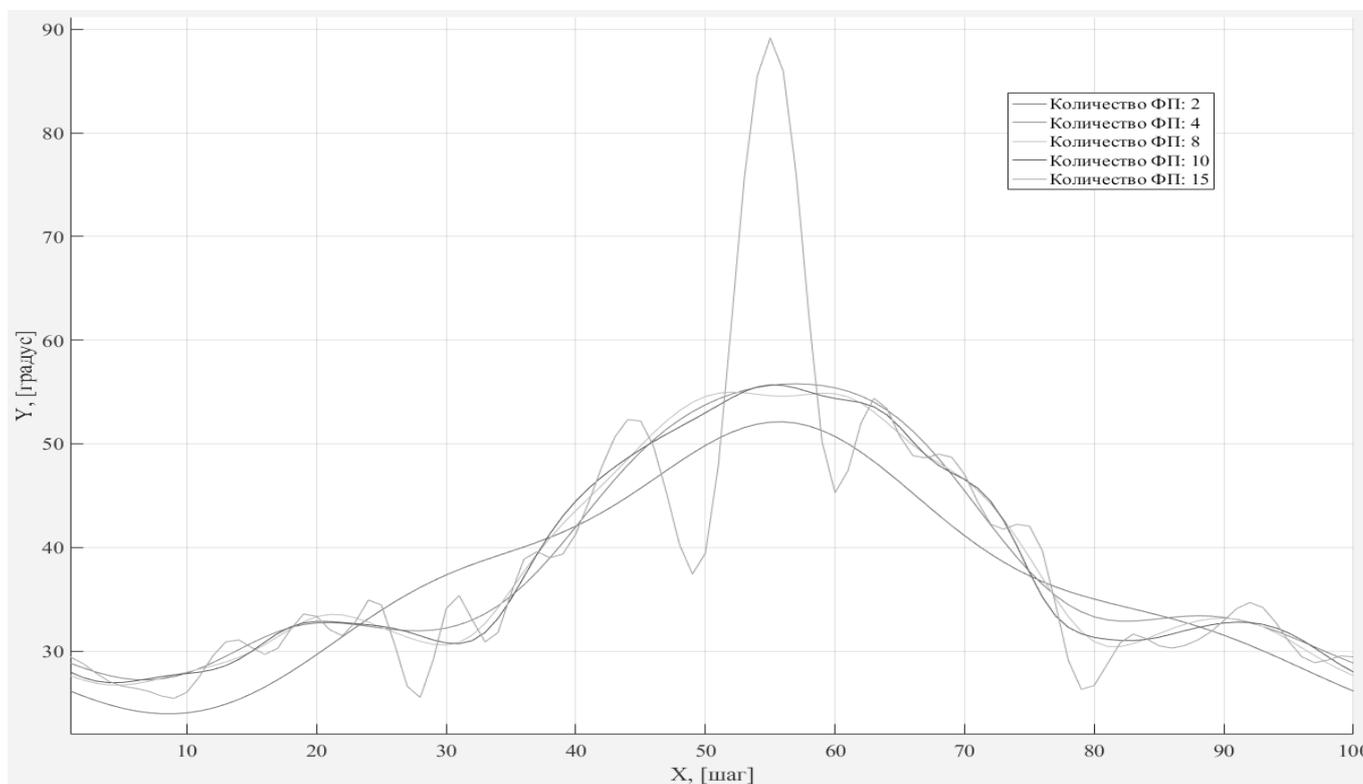


Рис. 5. Изменение значения второго угла в сочленении манипулятора

Таблица 4. Результаты исследований влияния количества подходов при обучении ННС

Подходов при обучении:	5	15	40	80	160
Время на создание сети, [мс]:	7,477	6,109	5,929	5,295	5,089
Время на обучение сети, [мс]:	499,92	1078,71	2598,8	5029,439	9910,857
Время реакции сети, [мс]	0,94	0,928	0,914	0,935	0,915
Макс. отклонение, [мм]:	26,98	26,152	26,813	27,407	27,992
Мед. отклонение, [мм]:	11,676	11,516	11,118	12,036	12,974

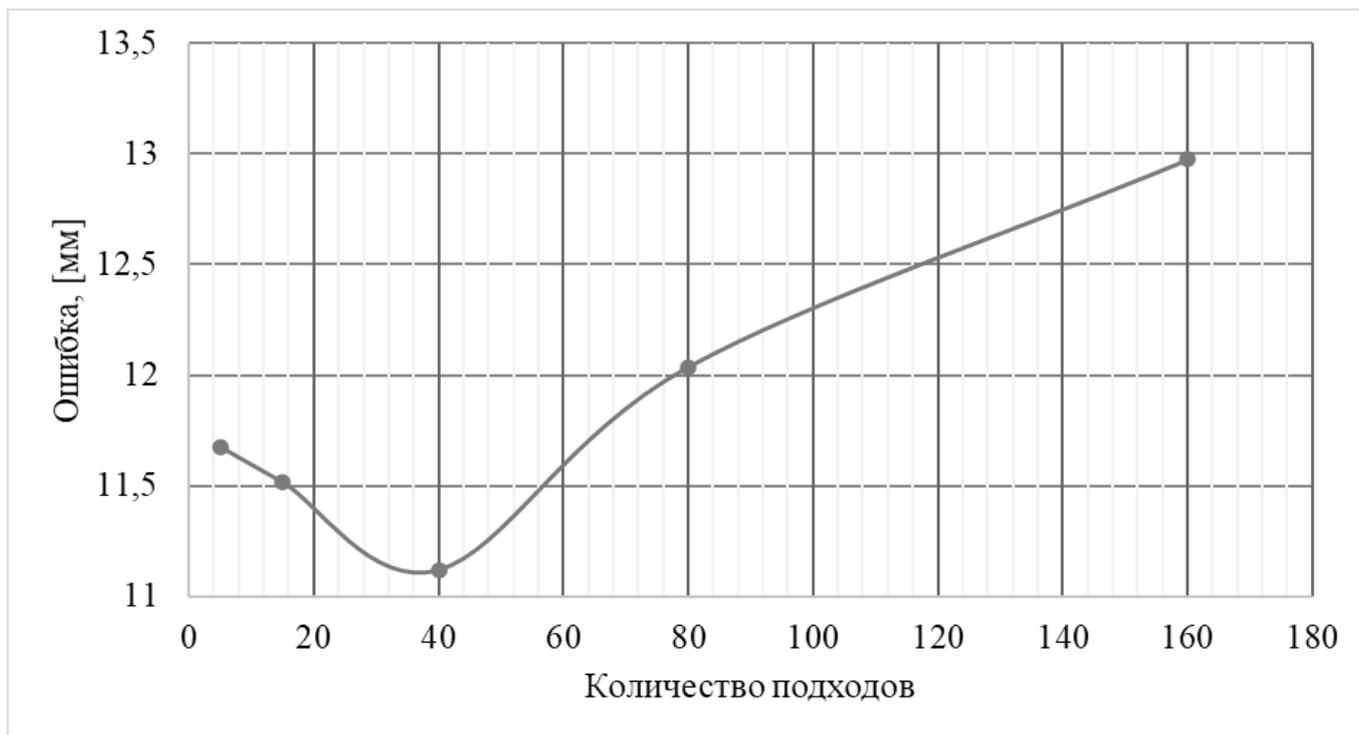


Рис. 6. График зависимости медианной ошибки от количества подходов при обучении ННС

рассчитано отклонение рабочего органа манипулятора от заданной траектории. Расчет отклонения проводился на решении прямой задачи по формуле (2).

На рис. 4 представлен график изменения максимальной и медианной ошибки (отклонения от заданных желаемых координат) положения рабочего органа манипулятора при расчете. Как видно из графика, ошибка уменьшается с увеличением обучающей выборки ННС и ее значение стремится к определенной величине.

В соответствии со схемой структуры нечеткой нейронной сети для каждого входного узла определен набор функций принадлежности. Параметры ФП определяются в процессе обучения сети. Были проведены серии экспериментов по нахождению решения ОЗК для ННС, обученных с различным количеством функций

принадлежности. Инициация сети проводилась на заранее сгенерированных траекториях.

В таблице 2 представлены результаты исследований, проведена оценка времени, затраченного на обучение, создание и реакцию сети, рассчитано отклонение рабочего органа манипулятора от заданной траектории.

В таблице 3 представлены результаты исследований, проведена оценка времени, затраченного на обучение, создание и реакцию сети, рассчитано отклонение рабочего органа манипулятора от заданной траектории. Расчет отклонения проводился на решении прямой задачи по формуле (2).

Процедура обучения адаптивной нечеткой нейронной сети включает в себя проход по всем узлам слоя в прямом направлении (от входа к выходу), после чего все

узлы сети корректируются с использованием метода наименьших квадратов. После выполнения прямого прохождения выполняется обратный проход и коэффициент рассогласования (разница полученного решения и заданного значения) распространяется обратно через узлы ННС и корректирует параметры функций принадлежности методом градиентного спуска. Комбинация прямого и обратного прохода называется подходом при обучении нейронной сети. Количество подходов определяется задачей (данными обучающей выборки), на которую обучается ННС, и подбирается экспериментально. Обучение сети может проходить как при фиксированном количестве подходов, так и при достижении минимально установленной ошибки. Для анализа влияния количества подходов на качество обучения сети было выбрано фиксированное число прохождений. В таблице 4 представлены результаты исследований, проведена оценка времени, затраченного на обучение, создание и реакцию сети, рассчитано отклонение рабочего органа манипулятора от заданной траектории. Расчет отклонения проводился на решении прямой задачи по формуле (2).

На основании проведенных экспериментальных исследований, данные которых представлены в таблице 4, построен график зависимости медианной ошибки (рис. 6). Анализируя полученные данные, можно заметить, что ошибка с увеличением количества подходов сначала уменьшается, а затем увеличивается. Уменьшение ошибки при увеличении количества подходов свидетельствует об уточнении параметров функций принадлежности в узлах ННС на основе выявления зависимостей в обучающем наборе данных. Увеличение ошибки при дальнейшем увеличении количества подходов (свыше 50) является следствием так называемой переобученности (*overfitting*), возникающей из-за выявления новых зависимостей. Существуют методы предотвращения переобученности сети, которые могут указать, когда дальнейшее обучение не приводит к улучшению параметров. В работе применяется метод ограничения количества подходов. Существуют также методы, в основе которых лежит явное ограничение на сложность моделей, или проверка способности модели к обобщению путём оценки её эффективности на множестве данных, не использовавшихся для обучения и считающихся приближением к реальным данным. Примерами методов избавления от переобученности

могут служить: перекрёстная проверка [13], регуляризация [14], вербализация ННС [15], априорная вероятность [16] и байесовское сравнение моделей [17].

## Заключение

В ходе выполнения данной работы были получены следующие результаты, имеющие практическую значимость:

1. Объем обучающей выборки не влияет на продолжительность генерации ННС и её реакции (поиска решения).
2. При увеличении объема обучающей выборки уменьшается ошибка, однако полностью избавиться от неё затруднительно.
3. При увеличении объема обучающей выборки значительно увеличивается продолжительность вычислений.
4. При увеличении количества функций принадлежности, увеличивается время, требуемое на создание, обучение и реакцию нечеткой нейросети.
5. Исходя из графика изменения координаты второго угла, можно сделать вывод об увеличении разброса значений.
6. Тип функции принадлежности не оказывает значительного влияния на время создания и обучения ННС.
7. Исходя из изменения ошибки наилучшими показателями обладают функции типов: обобщенная колоколообразная и гауссовская. Наилучшими показателями времени реакции отличаются обобщенная колоколообразная, пи-подобная и гауссовская ФП.
8. Ошибка возрастает при недостаточном количестве подходов при обучении ННС (менее 20), вследствие «недообученности» сети.
9. Ошибка возрастает при значительном увеличении количества подходов при обучении ННС (более 50), в результате «переобученности» сети.

Полученные результаты исследований позволяют судить о возможности применения нечетких нейронных сетей в кинематических задачах для многозвенных манипуляторов. Применение их возможно в том числе и в совокупности с другими уточняющими алгоритмами расчета.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Park J.-K. Inverse Kinematics Based on Fuzzy Logic and Neural Networks for the WAM-Titan II Teleoperation System. Master's Thesis 2007.
2. Nikhade G.R., Chidharwar S.S., S.D.V. Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) for Generation of Joint Angle Trajectory // Asian International Journal of Science and Technology in Production and Manufacturing Engineering. 2013. № 2 (6). P. 25–32.
3. Hendarto H.A., Munadi, Setiawan J.D. ANFIS application for calculating inverse kinematics of programmable universal machine for assembly (PUMA) robot // 2014 The 1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering. 2014. P. 35–40. DOI:10.1109/ICITACEE.2014.7065710.

4. Mashhadany Y.I. AI ANFIS-Inverse-Controlled PUMA 560 Workspace Robot with Spherical Wrist // *Procedia Engineering*. 2012. (41). P. 700–709. DOI:10.1016/j.proeng.2012.07.232.
5. Bachir O., Zoubir A.-F. Adaptive Neuro-fuzzy Inference System Based Control of puma 600 Robot Manipulator // *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. 2011. № 1 (2). DOI:10.11591/ijece.v2i1.116.
6. Nakhon N., Napol V., Chowarit C. ANFIS inverse kinematics method in bilateral control system based on DOB of delta robot // *18th International Conference on Electrical Machines and Systems, ICEMS2015*. 2016. P. 1314–1318. DOI:10.1109/ICEMS.2015.7385242.
7. Ankarali A., Cilli M. ANFIS Inverse Kinematics and Hybrid Control of a Human Leg Gait Model // *Academic Platform Journal of Engineering and Science*. 2013. № 2 (1). P. 34–49. DOI:10.5505/apjes.2013.24633.
8. Pérez-Rodríguez R., Marciano-Cedeño A., Costa Ú., Solana J., Cáceres C., Opisso E., Tormos J.M., Medina J., Gómez E.J. Inverse kinematics of a 6 DoF human upper limb using ANFIS and ANN for anticipatory actuation in ADL-based physical Neurorehabilitation // *Expert Systems with Applications*. 2012. № 10 (39). P. 9612–9622. DOI:10.1016/j.eswa.2012.02.143.
9. Beheshti M.T.H., Tehrani A.K., Ghanbari B. An optimized adaptive fuzzy inverse kinematics solution for redundant manipulators // *IEEE International Symposium on Intelligent Control ISIC-03*. 2003. № 2. P. 924–929. DOI:10.1109/ISIC.2003.1254760.
10. Hasan A.T., Hamouda A.M.S., Ismail N., Al-Assadi H.M.A.A. An adaptive-learning algorithm to solve the inverse kinematics problem of a 6 D.O.F serial robot manipulator // *Advances in Engineering Software*. 2006. № 7 (37). P. 432–438. DOI:10.1016/j.advengsoft.2005.09.010.
11. Mayorga R.V., Sanongboon P. An Artificial Neural Network Approach for Inverse Kinematics Computation and Singularities Prevention of Redundant Manipulators // *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 2005. № 1 (44). P. 1–23. DOI:10.1007/s10846-005-9000-x.
12. Ganin P.E., Shilin D.V., Shestov D.A. Building Unified Control System for Multi-Link Industrial Manipulators // *2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon)*. 2019. P. 1–6. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867705
13. Allen D.M. The Relationship between Variable Selection and Data Augmentation and a Method for Prediction // *Technometrics*. 1974. № 1 (16). P. 125. DOI:10.2307/1267500.
14. Syam N., Kaul R. *Overfitting and Regularization in Machine Learning Models* Emerald Publishing Limited, 2021. 65–84 p.
15. Ilievski F., Postma M., Vossen P. Semantic overfitting: What «world» do we consider when evaluating disambiguation of text? // *COLING 2016–26th International Conference on Computational Linguistics, Proceedings of COLING 2016: Technical Papers*. 2016. P. 1180–1191.
16. Wang J., Hao G. Robust estimation algorithm based on prior probability statistics // *International Journal of Robust and Nonlinear Control*. 2021. № 16 (31). P. 7957–7970. DOI:10.1002/rnc.5724.
17. Gelman A., Carlin J.B., Stern H.S., Dunson D.B., Vehtari A., Rubin D.B. *Bayesian Data Analysis* / A. Gelman, J.B. Carlin, H.S. Stern, D.B. Dunson, A. Vehtari [и др.], Chapman and Hall/CRC, 2013.

## ОРГАНИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РФ

### DEVELOPMENT OF A MECHANISM FOR MANAGING THE OPERATIONAL PROCESSES OF THE ENERGY INDUSTRY OF THE RUSSIAN FEDERATION

*K. Kondratev*

*Summary.* The problems of the functioning of the energy industry, which have risen to a new level of relevance due to the increased sanctions pressure on the Russian economy, require cardinal systemic measures to improve its efficiency. The article proposes a comprehensive strategy for the reengineering of business processes in the energy industry, based on the principles of the Lean Six Sigma quality management system. To integrate the operating process management mechanism into a unified strategy for the development and transformation of the industry the author considers the use of the concept of the balanced scorecard of the industry level, decomposed to the level of individual enterprises and processes.

*Keywords:* energy industry, business processes, business process reengineering, quality management system, Lean Six Sigma, balanced scorecard, key performance indicators, BSC, KPI.

**Кондратьев Кирилл Анатольевич**

*Аспирант, Институт информационных систем и инженерно-компьютерных технологий, Российский новый университет  
kirillko645@gmail.com*

*Аннотация.* Проблемы функционирования энергетического комплекса, поднявшиеся на новый уровень актуальности в связи с усилением санкционного давления на экономику России, требуют кардинальных системных мер по повышению его эффективности. В статье предлагается комплексная стратегия по реинжинирингу бизнес-процессов энергетического комплекса, базирующаяся на принципах системы менеджмента качества Lean Six Sigma. Для интеграции механизма управления операционными процессами в единую стратегию развития и трансформации отрасли рассматривается использование концепции системы сбалансированных показателей отраслевого уровня, декомпозирующийся до уровня отдельных предприятий и процессов.

*Ключевые слова:* энергетика, бизнес-процессы, реинжиниринг бизнес-процессов, система менеджмента качества, Lean Six Sigma, система сбалансированных показателей, ключевые показатели эффективности.

Отечественная энергетика является критически важным, системным элементом отечественной экономики, от эффективной организации работы предприятий энергетического комплекса зависит и функционирование ключевых промышленных предприятий, и объектов социальной инфраструктуры, и домохозяйств. К сожалению, экономические и организационные проблемы в отраслях энергетики РФ, обусловленные историей ее возникновения и развития [1], вышли на новый уровень актуальности в свете беспрецедентного санкционного давления на экономику России. Отставание в технологическом уровне развития энергетического машиностроения в условиях высокого процента износа основных производственных фондов создало устойчивую зависимость предприятий энергетического комплекса от зарубежных поставщиков технологического оборудования и услуг. К этому добавилось сокращение минерально-сырьевой базы и объемов геологоразведочных работ, растущие потери на стадиях добычи, генерации, передачи и потребления энергии. В этих сложнейших условиях обеспечения энергетической безопасности страны большое значение приобретает повышение

эффективности работы как отдельных предприятий энергетической отрасли, так и всего энергетического комплекса в целом.

В настоящий момент нельзя констатировать факт перехода отрасли на процессный подход к управлению. Есть предприятия-лидеры, внедрившие и успешно реализующие принципы устойчивого развития на основе процессного подхода и систем управления качеством, в то же время другие предприятия, находящиеся в одной технологической цепочки с «передовиками», практически нивелируют эти достижения, и мы наблюдаем отрицательную синергию. Отдельные предприятия энергетического комплекса реализуют процессный подход, но поднявшись на отраслевой уровень, мы видим все тот же устаревший функциональный подход. Ключевой стратегической задачей отрасли является завершение перехода к процессно-ориентированному управлению в кратчайшие сроки. В процессно-ориентированном управлении вектор смещается на потребности получателя энергетических ресурсов и удовлетворение этой потребности с заданными параметрами качества.

Ключевым понятием процессного-ориентированного управления является бизнес-процесс. М. Хаммер и Дж. Чампи дают классическое определение бизнес-процесса как совокупности видов деятельности, в рамках которой на входе используется один или несколько ресурсов, а на выходе получается продукт, имеющий ценность для потребителя [2]. Рассматривая бизнес-процессы энергетического комплекса, следует учитывать несколько особенностей этой отрасли экономики, которые отличают ее от других видов экономической деятельности [3]:

- ◆ технологическое единство и совпадение по времени процессов генерации, передачи, распределения и потребления энергии;
- ◆ реализация принципов параллельной работы и резервирования для обеспечения совмещенного графика нагрузки;
- ◆ необходимость высокого уровня автоматизации принятия решений при возникновении аварийных ситуаций.

Энергия является весьма специфическим товаром, ее невозможно складировать и запастись; поступая в единую сеть она обезличивается и ее невозможно идентифицировать по месту происхождения; не существует понятия бракованной энергии. Безусловно это накладывает специфику и на бизнес-процессы энергетического комплекса. А.М. Кириллов [4] отмечает такие особенности бизнес-процессов как непрерывность производства, неэластичность спроса, высокую энергоемкость и фондоемкость. Н.Г. Остроухова [5] добавляет к этому перечню высокую степень интеграции процессов переработки, транспортировки и распределения готового продукта конечному потребителю, зависимость от уровня развития транспортной инфраструктуры. Е.И. Тымуль [3] отмечает, что управляющие бизнес-процессы для энергетических предприятий включают ряд последовательных мероприятий по обеспечению административной и организационной подготовки для осуществления основной деятельности. На этапах управленческих бизнес-процессов закладывается общая стратегия развития, формируются ключевые стандарты и регламенты, планы, осуществляется контроль за качеством отпускаемой энергии.

Специфика бизнес-процессов энергетической отрасли, общее неэффективное взаимодействие участников внутри единой технологической цепочки, комплекс накопившихся экономико-технологических проблем на отраслевом уровне предопределяют необходимость стратегической перестройки системы управления отраслью, в основу которой должна быть положена концепция устойчивого развития на базе системы менеджмента качества. В качестве основного механизмом достижения этой стратегической задачи мы предлагаем

использовать реинжиниринг бизнес-процессов в рамках концепции управления качеством Lean Six Sigma.

Н.Г. Остроухова в работе [6] дает следующее определение реинжиниринга бизнес-процессов — это концептуально-методологический подход к созданию новой модели управления производственно-экономической системой за счет системных преобразований, в результате которых отдельные функции заменяются бизнес-процессами, а существующие неэффективные бизнес-процессы модифицируются для улучшения показателей их эффективности при минимальных затратах. Основные сложности проведения реинжиниринга в энергетической отрасли связаны с рядом факторов — для получения реальной эффективности невозможно осуществить реинжиниринг на отдельно взятом предприятии, предприятия отрасли имеют разный технологический и финансовый уровень, испытывают нехватку квалифицированных кадров. В этой связи, при разработке процедур реинжиниринга бизнес-процессов в энергетической отрасли, необходимо учитывать ряд принципов и ограничений. Прежде всего должен соблюдаться ключевой принцип — бесперебойность и надежность энергоснабжения. Реинжинирингу должны подвергаться основные бизнес-процессы с учетом всех участвующих в цепочке создания ценностей предприятий энергетики. Необходимо создание единого информационного пространства в отрасли. Акцент должен быть поставлен на преобразование предприятий в гибкие производственные системы. Должна быть разработана единая отраслевая система управления знаниями, единые стандарты и методика проведения реинжиниринга.

Использование интегрированной методологии управления качеством Lean Six Sigma позволит реализовать задачу повышения эффективности бизнес-процессов в целях удовлетворения ключевых потребностей клиентов по параметрам получения готового продукта — энергии. Набор специфических инструментов Lean Six Sigma, таких как DMAIC, DFSS, DMADOV, Канбан, Кайзен и других, позволит обеспечить реализацию задач стратегического уровня тотального управления качеством TQM и непрерывного улучшения качества CQF в конкретных бизнес-процессах.

Механизм управления операционными бизнес-процессами энергетического комплекса должен быть не только интегрирован в систему управления качеством энергетической отрасли, но и отражать всю полноту стратегии развития и управления энергетическим комплексом. Мы предлагаем в качестве механизма трансляции целей и задач стратегического уровня на уровень управления операционными процессами использовать систему сбалансированных показате-



Рис. 1. Модель системы сбалансированных показателей энергетического комплекса.

лей (ССП или BSC), впервые предложенную в качестве стратегического инструментария Д. Нортоном и Р. Капланом [7]. Концептуально модель системы сбалансированных показателей энергетической отрасли приведена на рисунке 1.

Блок развития персонала предполагает проведение необходимых образовательных и аттестационных мероприятий для трех крупных сегментов персонала — персонала организаций, непосредственно обеспечивающих бизнес-процессы энергетической отрасли, персонала ключевых потребителей — главных энергетиков и ведущих специалистов, отвечающих за коммуникации с персоналом энергетических предприятий и персонала регулирующих органов. Это позволит обеспечить единое и сбалансированное развитие персонала всех ключевых стейкхолдеров энергетической

отрасли, создаст основу для понимания целей, задач, способов и механизмов реинжиниринга бизнес-процессов энергетической отрасли.

Бизнес процессы энергетического комплекса необходимо рассматривать во взаимосвязи процессов, создающих цепочку ценности (цикл генерация-передача-распределение-потребление) и инфраструктурных бизнес-процессов, поставляющих ключевые ресурсы для обеспечения работы всего комплекса. При этом обязательно должно быть соблюдено правило декомпозиции бизнес-процессов с отраслевого уровня до уровня организаций и, далее, до уровня отдельных операционных процессов внутри организации. Такой подход позволяет обеспечить каскадирование отраслевых целей в задачи отдельных бизнес-процессов внутри каждого предприятия энергетики и соблюсти



Рис. 2. Схема распределения KPI операционного бизнес-процесса.

баланс между гибкостью подхода и единой системой ключевых показателей эффективности. Верхнеуровневые бизнес-процессы при таком подходе фактически создают управленческий контур операционных процессов, интегрируя их в единую отраслевую систему.

В блоке клиентов и рыночной среды показатели эффективности необходимо разрабатывать с учетом видения сегментации конечных потребителей через цепочку внутренних клиентов (предприятий одной цепочки создания добавленной ценности). При этом часть показателей может оставаться специфическими, присущими только выбранным типам клиентов.

Наконец, верхний блок — блок финансовых показателей, мы предлагаем рассматривать с точки зрения интегрированных результирующих показателей всего энергетического комплекса. Каждое из предприятий имеет доступ к витрине совместных данных, в рамках которой предоставляется доступ к ключевым финансово-экономическим показателям как всего энергетического комплекса, так и отдельных предприятий. Целесообразно предоставить доступ к совместной витрине данных так же и для ключевых клиентов энергетики и регулятора — это позволит еще одним коммуникационным способом объединить все вовлеченные стороны энергетического комплекса.

Опираясь на приведенную модель системы сбалансированных показателей энергетического комплекса, мы можем перейти к задаче построения ключевых показателей эффективности конкретных операционных процессов. Существует множество методик моделирования бизнес-процессов, предоставляющих широкий инструментарий для построения и описания процессов. Для целей разработки управленческого контура для операционных процессов мы предлагаем воспользоваться классической нотацией IDEF0. Основная ее особенность — наличие отдельного управляющего воздействия на бизнес-процесс, которое декомпозируется на всех уровнях детализации бизнес-модели. В результате моделирования управленческого контура операционного процесса мы получим набор регламентирующих процедур, закрепленных в стандартах, регламентах и методиках, содержащих набор ключевых показателей эффективности (KPI) и алгоритм действий при получении пороговых или критических значений.

Обычно выделяют следующие виды ключевых показателей эффективности операционных процессов:

- ◆ KPI результативности;
- ◆ KPI затрат;
- ◆ KPI функционирования;
- ◆ KPI производительности;
- ◆ KPI эффективности.

Применительно к визуализации бизнес-процесса в нотации IDEFO мы предлагаем рассматривать разработку системы KPI следующим образом (см. рисунок 2).

Входы процесса и ресурсы (механизмы) процесса обладают близкой ресурсной природой,— так, А.Г. Колбин [8] предлагает рассматривать их в составе единого внутреннего ресурсного контура, который, в свою очередь, рассматривается единое воздействие на бизнес-процесс. Для этих двух воздействий применим один тип KPI затрат, отличающийся лишь набором показателей, оценивающих количество затрат, переданных для осуществления процесса. Выходы процесса оцениваются через KPI результативности, через количественные или информационные показатели результата процесса. При этом, один из выходов процесса обеспечивает обратную (сигнальную) связь на более высокий уровень композиции бизнес-модели. С его помощью происходит формирование и оценка KPI производительности (показатели, отражающие соотношение между полученным результатом и временем, затраченным на его получение) и KPI эффективности (показатели, отражающие соотношение полученного результата к затратам ресурсов). Дополняют управляющий меха-

низм процесса KPI функционирования, содержащие показатели, позволяющие оценить соответствие процесса требуемому алгоритму его выполнения.

Таким образом, последовательное внедрение предложенной концепции организации механизма управления операционными процессами в энергетической отрасли позволят достичь его высокой эффективности за счет:

- ◆ соответствия операционных целей реализации процесса целям процессов цепочки создания добавленной стоимости и стратегии устойчивого развития всего энергетического комплекса;
- ◆ интеграции в систему целеполагания управляющего механизма элементов системы менеджмента качества Lean Six Sigma;
- ◆ совершенствование механизма управления операционным процессом посредством интеграции в среду сбалансированной системы показателей, изменения целеполагания на основе оценки значений KPI блоков развития персонала, смежных бизнес-процессов, эффективности достижения рыночных целей и итоговых финансовых показателей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Остроухова Н.Г. Взгляд на проблемы российского топливно-энергетического комплекса через призму его становления и развития // Проблемы экономики, организации и управления в России и мире: Материалы VIII международной научно-практической конференции (28 апреля 2015 года).— Отв. Редактор Уварина Н.В.— Прага, Чешская республика: WORLD PRESS s.r.o., 2015.— с. 155–158.
2. Хаммер, М. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе / пер. с англ.; под ред. с предисл. В.С. Катькало.— СПб.: Изд-во СПбГУ, 2000.— 332 с.
3. Тымуль Е.И. Специфика бизнес-процессов для предприятий энергетики // Экономическая наука сегодня. 2018. Вып.8. С. 322–328
4. Кириллов, А.М. Методологические аспекты развития бизнес-процессов в нефтеперерабатывающей промышленности и оценка их эффективности: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05; Нижегород. гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского.— Н. Новгород, 2007.— 23 с.
5. Остроухова, Н.Г. Бизнес-процессы предприятий ТЭК: понятие, содержание, классификация // Менеджмент.— 2012.— № 1— С. 118–122.
6. Остроухова Н.Г. Принципы реинжиниринг бизнес-процессов на предприятиях энергетики // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Том 7. № 6. С. 1–11 [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/30EVN615.pdf> (дата обращения 27.11.2022)
7. Robert S. Kaplan, David P. Norton. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action. Harvard Business Review Press, 1996, 336p.
8. А.Г. Колбин. Система управления процессными технологическими инновациями (структурные аспекты).— М.: Компания Спутник+, 2003.— 46 с.

© Кондратьев Кирилл Анатольевич ( kirillko645@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## СИАМСКИЕ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ

SIAMESE NEURAL NETWORKS  
FOR THE TASK OF FACE RECOGNITION

**T. Krutov**  
**G. Afanasyev**  
**A. Afanasyev**

*Summary.* The paper considers the architecture of the Siamese neural network in relation to the problem of facial recognition. The theoretical foundations of comparing photos of people using the neural network approach are described. The Siamese neural network was written and trained using transfer learning technology. The dataset used was a collected with a balanced number of images in each class. The results of the Siamese neural network are shown in the graphs of accuracy and loss.

*Keywords:* siamese neural network, face recognition, vector representation of images, transfer learning,.

**Крутов Тимофей Юрьевич**

Аспирант, кафедра, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)  
timofeykrutov@gmail.com

**Афанасьев Геннадий Иванович**

К.т.н., доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)  
gaipcs@bmstu.ru

**Афанасьев Арсений Геннадьевич**

Ассистент, МГТУ им. Н.Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет)  
wolfram\_zn@mail.ru

*Аннотация.* В работе рассматривается архитектура сиамской нейронной сети применительно к задаче распознавания лиц. Описаны теоретические основы сравнения фотографий людей с помощью нейросетевого подхода. Программно реализована и обучена сиамская нейронная сеть с применением технологии transfer learning — использования предобученной сети. В качестве данных использовался собранный набор со сбалансированным количеством изображений в каждом классе. Результаты работы сиамской нейронной сети приводятся на графиках точности и потерь.

*Ключевые слова:* сиамская нейронная сеть, распознавание лиц, векторное представление изображений, transfer learning,.

## Введение

**В** современном мире системы компьютерного зрения на основе машинного обучения находят широкое применение [2,4], в частности, системы распознавания лиц давно занимают широкую нишу в задачах обеспечения безопасности охраняемых объектов и контроля за соблюдением общественного порядка. Системы распознавания лиц позволяют существенно сократить время прохода сотрудников через контрольно-пропускные пункты, обеспечить соблюдение режима рабочего времени, снизить расходы организации на содержание большого штата охраны или отказать от традиционных способов контроля доступа, таких как бумажные пропуска и электронные карты.

## Основная часть

Одним из способов реализации системы распознавания лиц является искусственная свёрточная нейронная сеть, для которой могут быть использованы разные методы оптимизации [1, 3].

При создании системы распознавания лиц, основанных на свёрточных нейронных сетях, возникает

необходимость выбора архитектуры свёрточной нейронной сети. В качестве архитектуры нейронной сети была использована распространённая для решения задач распознавания лиц сиамская свёрточная сеть [8, 5] рисунок 1.

Основное отличие сиамской нейронной сети от простой свёрточной нейронной сети состоит в том, что сиамская сеть имеет два входа и только один выход. Такая идея предполагает использование двух одинаковых параллельных свёрточных ветвей сети, использующих одинаковые веса. Обучение сети производится на парах изображений. На этапе предобработки данных необходимо составить из обучающего набора пары изображений и присвоить бинарные метки каждой паре. Метки присваиваются в соответствии с правилом: два изображения одного человека — положительная пара, изображения разных людей — отрицательная пара.

В процессе обучения одновременно на один вход подсети подается первое изображение пары, на другой вход — второе. Сиамская нейронная сеть учится выделять схожие изображения за счёт минимизации расстояния между фотографиями одного человека. Для вы-

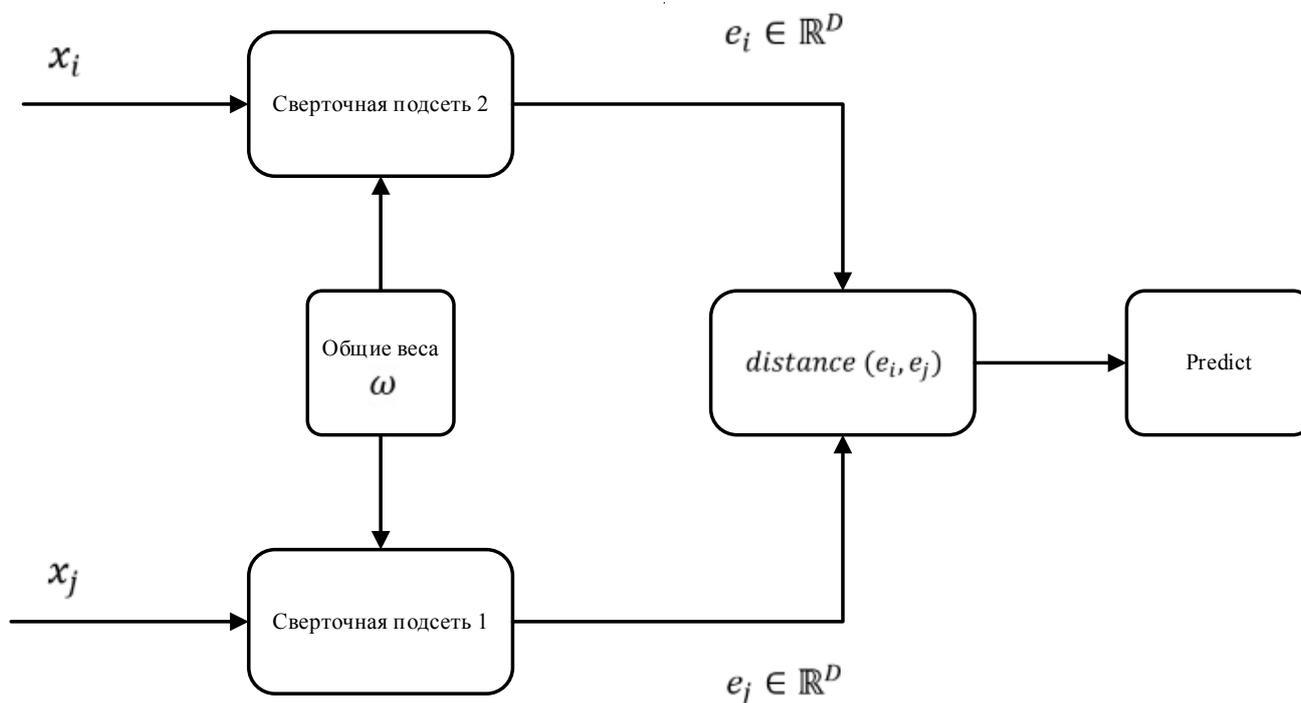


Рис. 1. Архитектура сиамской нейронной сети

деления отличий между фотографиями разных людей используется максимизации расстояния [6].

Иными словами, обучающий набор эталонных лиц людей представляется в виде точек  $(x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1), (x_1^2, x_2^2, \dots, x_n^2), \dots, (x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k)$   $n$  — мерного векторного пространства. Такое векторное представление позволяет выделить области пространства, в котором каждая новая точка будет принадлежать к определенному классу — одному конкретному человеку. Для проверки принадлежности тестовой фотографии к определенному классу используется понятие нормы. В рамках задач компьютерного зрения широко распространена  $l_2$  — норма или евклидово расстояние. Формула евклидова расстояния для двух  $n$ -мерных векторов  $x, y$ :

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

После вычисления расстояния между векторами принадлежность к классу объекта будет определяться наименьшим расстоянием из вычисленных:

$$\min((d(x, y_1), d(x, y_2), \dots, d(x, y_k)))$$

Обучающий набор сиамской нейросети можно представить в виде

$$D = \{x_i, x_j, p_{i,j}\}, i, j = 1, \dots, k$$

где  $x_i$  — первое изображение в паре,  $x_j$  — второе изображение в паре,  $p_{i,j}$  — бинарная метка соответствия пар,  $k$  — размер обучающей выборки.

В качестве целевой функции используется контрастная потеря [7].

Функция контрастной потери для набора данных  $\{X_i, y_i\}, i = 1, \dots, n$  с метками  $y_i \in \{1, 2, 3, \dots, K\}$ , где  $K$  — число классов:

$$loss = 1_{y_i=y_j} \|e_i, e_j\|_2^2 + 1_{y_i \neq y_j} \cdot \max(m - \|e_i, e_j\|_2)^2$$

где  $y_i, y_j$  — метки классов первого изображения пары и второго изображения пары, соответственно;  $\|e_i, e_j\|_2$  — евклидово расстояние между выходными векторами признаков  $e_i, e_j$  изображений  $x_i, x_j$ ;  $m$  — минимально заданное расстояние между изображениями разных классов.

#### Экспериментальная часть

Модель системы распознавания лиц была написана на языке Python с применением библиотек Tensorflow, Keras и библиотеки компьютерного зрения OpenCV [9]. В качестве детектора лиц используется Multi-task Cascaded Convolutional Network (MTCNN) [10].

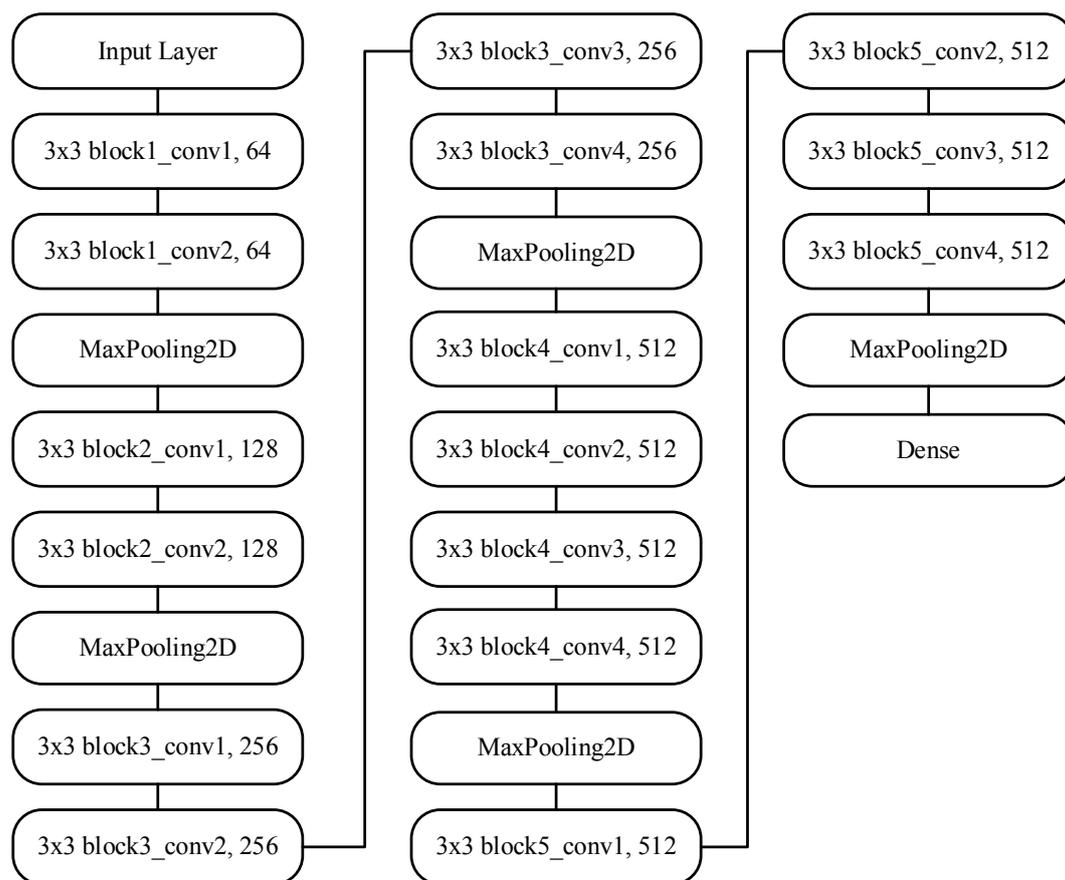


Рис. 2. Слои подсети сиамской нейронной сети

Архитектура сиамской нейронной сети была реализована с помощью предобученной на изображениях ImageNet свёрточной сети VGG19. Схема слоев подсети сиамской нейронной сети приведена на рисунке 2. Для получения векторов признаков был добавлен полносвязный слой Dense. Выходы подсетей были объединены в слое Lambda с помощью вычисления  $l2$  — нормы выходных признаков.

Обучение нейронной сети производилось на CPU без использования графического ускорителя.

Гиперпараметры нейронной сети, исследуемые в работе:

- ◆ количество нейронов выходного слоя Dense подсети
- ◆ размер мини батча

Для исследуемых гиперпараметров нейронной сети были обучены модели с использованием оптимизатора Adam, со скоростью обучения 0,001.

Для аугментированных данных количество изображений каждого класса составляет 258 файлов.

В качестве данных был использован собранный набор фотографий людей. На приведенных ниже графиках показаны кривые обучения для 12 и 2 выходных нейронов и размера мини батча — 32. На рисунке 3 демонстрируется точность обучения модели, расположенная по оси ординат, на оси абсцисс отмечены эпохи обучения модели. График потерь на этапе обучения и валидации изображен на рисунке 4. Наилучшие показатели работы модели достигаются при значении размера мини батча — 32 и количества нейронов выходного полносвязного слоя — 4. Показатели обучения приведены на рисунках 5, 6 для точности и потерь соответственно.

## ВЫВОДЫ

По результатам экспериментальной части можно сказать, что архитектура сиамской нейронной сети может успешно применяться для построения систем распознавания лиц. В ходе эксперимента было получена точность модели 83%. При увеличении размеров выборки, количества классов изображений и дополнительной оптимизации гиперпараметров модели следует ожидать улучшения точности модели.

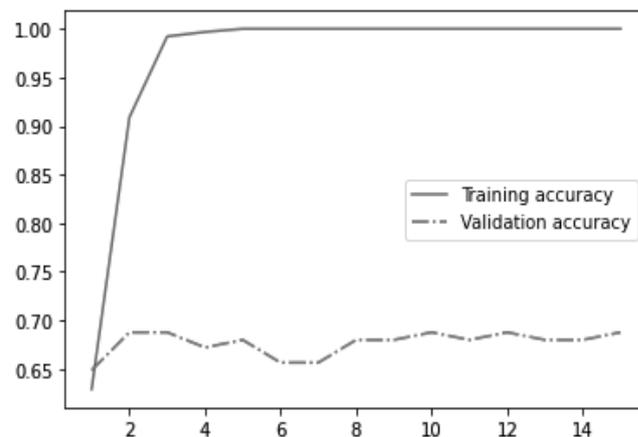
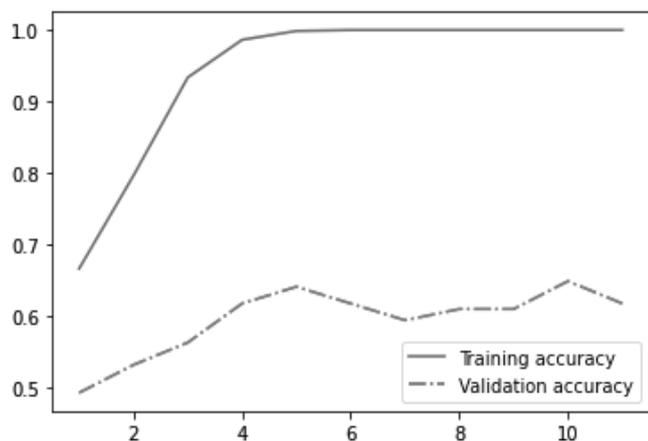


Рис. 3. Точность модели на обучающих и валидационных данных для сети с 12 нейронами полносвязного слоя — слева, для сети с 2 нейронами — справа.

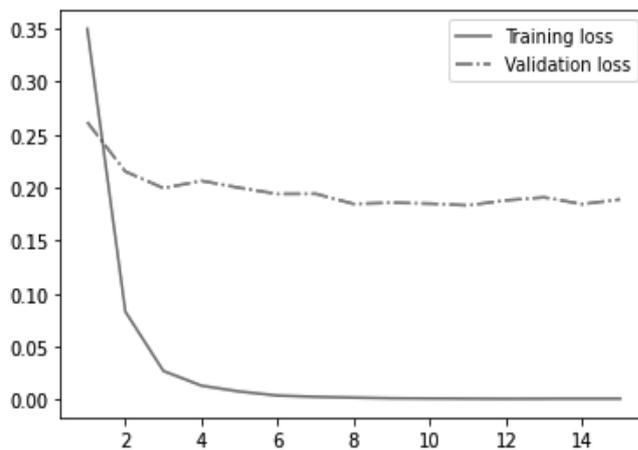
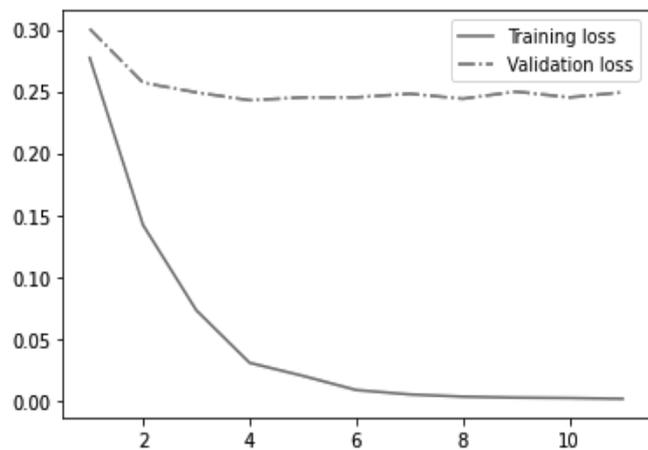


Рис. 4. Потери на обучающем и валидационном наборе для сети с 12 нейронами полносвязного слоя — слева, для сети с 2 нейронами — справа.

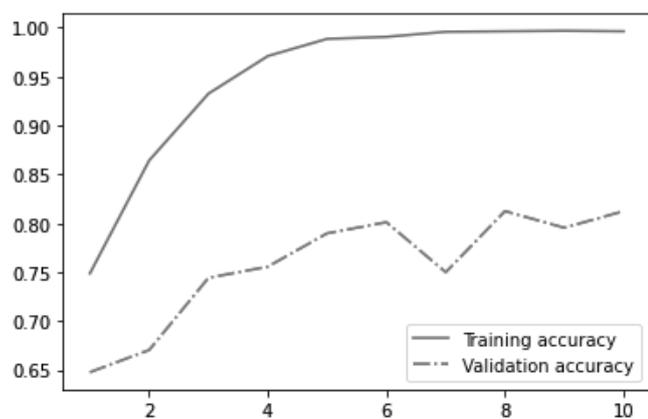


Рис. 5. Точность модели на обучающих и валидационных данных

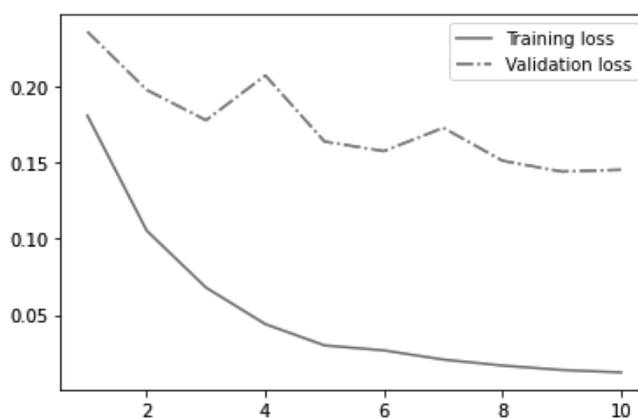


Рис. 6. Потери на обучающем и валидационном наборе

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев Г.И., Абулкасимов М.М., Сурикова О.В. Алгоритмы оптимизации, используемые в нейронных сетях, и градиентный спуск // Аспирант и соискатель. 2019. № 6 (114). С. 81–86.
2. Галичий Д.А., Афанасьев Г.И., Нестеров Ю.Г. Распознавание эмоций человека при помощи современных методов глубокого обучения // E-Scio. 2021. № 5 (56). С. 316–329.
3. Крутов Т.Ю., Афанасьев Г.И., Нестеров Ю.Г. Оптимизационные методы нейронных сетей для решения задачи бинарной классификации изображений // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. № 5–2. С. 68–76.
4. Подход к разработке модели цифрового двойника водителя высокоавтоматизированного транспортного средства на основе гибридной интеллектуальной информационной системы / Аладин Д.В., Горячкин Б.С., Варламов О.О., Афанасьев Г.И., Тимофеев В.Б. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 2–2. С. 34–40.
5. Франсуа Шолле. Глубокое обучение на Python // СПб.: Питер. 2019. — 400 с.
6. Николенко С., Кадурич А., Архангельская Е. Глубокое обучение. // СПб.: Питер. 2020. 480 с.
7. Hadsell R., Chopra S., LeCun Y. Dimensionality Reduction by Learning an Invariant Mapping [Electronic resource] // URL: <http://yann.lecun.com/exdb/publis/pdf/hadsell-chopra-lecun-06.pdf> (дата обращения 15.11.2022).
8. Koch G. Neural Networks for One-Shot Image Recognition. [Electronic resource] // URL: <http://www.cs.toronto.edu/~gkoch/files/msc-thesis.pdf> (дата обращения 15.11.2022).
9. OpenCV (Open Source Computer Vision). [Electronic resource] // Documentation page. URL: <https://docs.opencv.org/master/index.html> (дата обращения 15.11.2021).
10. Zhang K., Zhang Z., Li Z., Joint Face Detection and Alignment using Multi-task Cascaded Convolutional Networks. [Electronic resource] // URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1604/1604.02878.pdf> (дата обращения 15.11.2022).

---

© Крутов Тимофей Юрьевич (timofeykrutov@gmail.com),

Афанасьев Геннадий Иванович (gaipcs@bmstu.ru), Афанасьев Арсений Геннадьевич (wolfram\_zn@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

# ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ КОЛОННЫ

## DECENTRALIZED ALGORITHM FOR BUILDING A TRANSPORT COLUMN

**D. Lyakhmanov**  
**S. Kapranov**  
**R. Vasiliev**

*Summary.* This article discusses the algorithms for the formation of a column from an unorganized group of autonomous vehicles that are not connected to each other in the conditions of the Arctic and subarctic latitudes. The principle of forming a column is to find its leader for each vehicle included in the group. The article compares two developed algorithms: centralized and decentralized. With a centralized method, the search for the optimal way to form a column is carried out by one of the vehicles selected using the pseudo-random voting algorithm. With a decentralized method, the construction of a transport column is carried out by searching for its leader by each vehicle and is based on the principles of group interaction without an arbitrator. To conduct a comparative analysis, software has been developed that implements both algorithms and simulates a spatially dispersed transport group. The results of testing in a computer model showed the consistency of both algorithms, and emphasized the choice in favor of a decentralized algorithm, as more preferable in terms of reliability and fault tolerance.

*Keywords:* Arctic, automation, transport convoy formation, centralized control, decentralized control, Jarvis algorithm.

**Ляхманов Дмитрий Александрович**  
К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Нижегородский  
государственный технический университет им.  
Р.Е. Алексеева»  
dm.virger@gmail.com

**Капранов Сергей Николаевич**  
К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Нижегородский  
государственный технический университет им.  
Р.Е. Алексеева»  
serg.kapranov@gmail.com

**Васильев Роман Александрович**  
К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Нижегородский  
государственный технический университет им.  
Р.Е. Алексеева»  
serg.kapranov@gmail.com

*Аннотация.* В данной статье рассматриваются алгоритмы формирования колонны из неорганизованной группы автономных не связанных друг с другом транспортных средств в условиях заполярья и приарктических широт. Принцип формирования колонны заключается в нахождении для каждого входящего в группу транспортного средства своего ведущего. В статье производится сравнение двух разработанных алгоритмов: централизованного и децентрализованного. При централизованном способе поиск оптимального способа формирования колонны производится одним из транспортных средств, выбираемого с помощью алгоритма псевдослучайного голосования. При децентрализованном способе построение транспортной колонны производится путем поиска каждым транспортным средством своего ведущего и основывается на принципах группового взаимодействия без арбитра. Для проведения сравнительного анализа разработано программное обеспечение, реализующее оба алгоритма и имитирующее пространственно рассредоточенную транспортную группу. Результаты тестирования в компьютерной модели показали состоятельность обоих алгоритмов, и подчеркнули выбор в пользу децентрализованного алгоритма, как более предпочтительного с точки зрения надёжности и отказоустойчивости.

*Ключевые слова:* Арктика, автоматизация, формирование транспортной колонны, централизованное управление, децентрализованное управление, алгоритм Джарвиса.

## Введение

Освоение Арктической зоны в настоящий момент является одним из приоритетных направлений развития отечественной науки и техники. На российском Крайнем Севере сосредоточено до 80% залежей полезных ископаемых арктической зоны, наиболее ценным из которых являются запасы углеводо-

родного сырья. Однако слабо развитая транспортная инфраструктура является одним из главных препятствий для освоения природных богатств Арктики. Частично решить проблему возможно с помощью разработки и использования новых высокотехнологичных вездеходных транспортных средств, приспособленных к суровым климатическим условиям Арктики. Немаловажную роль в решении данного вопроса играют

системы автоматического и автономного управления транспортными средствами, целью которых является минимизация доли человеческого труда и повышение безопасности движения в тяжёлых навигационных условиях Арктического шельфа. Данная статья посвящена решению одной из задач, стоящих на пути разработки эффективной системы управления автоматизированным транспортным средством, а именно задаче самоорганизации группы автономных транспортных средств и формированию транспортной колонны. Такой способ совместного движения обеспечивает большую безопасность передвижения, снижает долю человеческого труда и уменьшает вычислительную нагрузку на ведомые транспортные средства.

На сегодняшний день данная проблема решается в рамках управления транспортными средствами на дорогах общего пользования. Исследования, в области автономного следования за транспортным средством в последние десятилетия привлекли внимание многих исследовательских центров, особенно в США и Европе, где безопасность, потребление энергии и необходимость оптимизации использования дорог общего пользования являются основными мотивирующими условиями [1,2]. В настоящее время активно развивается технология Track platooning позволяющая из группы грузовых автомобилей с прицепом сформировать колонну в которой первое транспортное средство находится под управлением водителя, а остальные с помощью систем автопилотирования стараются повторить траекторию ведущего транспортного средства в автоматическом режиме. Однако технологий, позволяющих полностью исключить человека из процесса управления в условиях дорог общего пользования на текущий момент, не существует.

В отличие от дорог общего пользования, где транспортная обстановка меняется каждую секунду, а процесс управления сопряжен с высокой степенью ответственности, применение систем колонного следования на безлюдных территориях допускает полную автоматизацию управления. Данное допущение возможно благодаря снижению уровня ответственности и упрощению самого процесса управления. Однако возникает сложность в координации множества автономных транспортных средств, особенно когда состав группы неизвестен заранее или может меняться по ходу движения колонны. Для таких случаев актуальным является разработка системы формирования колонны способная скоординировать движение множества разнотипных транспортных средств для построения в колонну.

Данная статья рассматривает алгоритмы формирования колонны из множества автономных не связанных

друг с другом автотранспортных транспортных средств (АТС). В статье не рассматриваются проблемы, приводящие к столкновению, проблемы возникающие из-за «петель» управления (замкнутых циклов, циклических участков очереди АТС, не должен «зацикливаться») и проблемы локального маневрирования.

### Формализация задачи

Пусть задано однородное множество автономных транспортных средств  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ , распределенных на координатной плоскости случайным образом, каждое из которых описывается выражением:

$$v_i,$$

где  $(x_i, y_i)$  — координаты АТС на плоскости,  $w_i$  — условный радиус действия приемо-передающих устройств, способных наладить канал передачи данных между двумя АТС.

Под однородностью множества будем понимать однотипность элементов, входящих в его состав. Будем считать, что значение параметра  $w_i$  является характеристикой АТС  $v_i$  и не зависит от каких-либо свойств другого АТС  $v_j$  с которой устанавливается канал передачи данных. При этом процесс договорного взаимодействия при построении колонны является возможным между АТС  $v_i$  и  $v_j$  только в том случае, если выполняется условие возможности формирования канала передачи данных  $\{v_i, v_j\}$ :

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} < \min\{w_i, w_j\}. \quad (1)$$

Дополняя множество  $V$  ребрами, удовлетворяющими условию (1) можем получить связный граф  $G$ , такой что:

$$G = (V, E \mid \exists e^{ij}: r_{ij} < \min\{w_i, w_j\}, \\ i = \overline{1 \dots n}, j = \overline{1 \dots n}), \quad (2)$$

т.е. ребро  $e_{ij}$  существует, если выполняется условие (1).

В рамках данной статьи задача формирования колонны рассматривается как формирование подмножества упорядоченных  $P \in V \times V$  пар  $\{v_i, v_j\}, i \neq j$ , составляющих путь.

Построение транспортной колонны по условиям задачи должно происходить в направлении целевой точки  $g$ , задаваемой координатами  $(x^g, y^g)$  и являющейся глобальной целью движения колонны. При формировании колонны целевая точка  $g$  определяет направление,

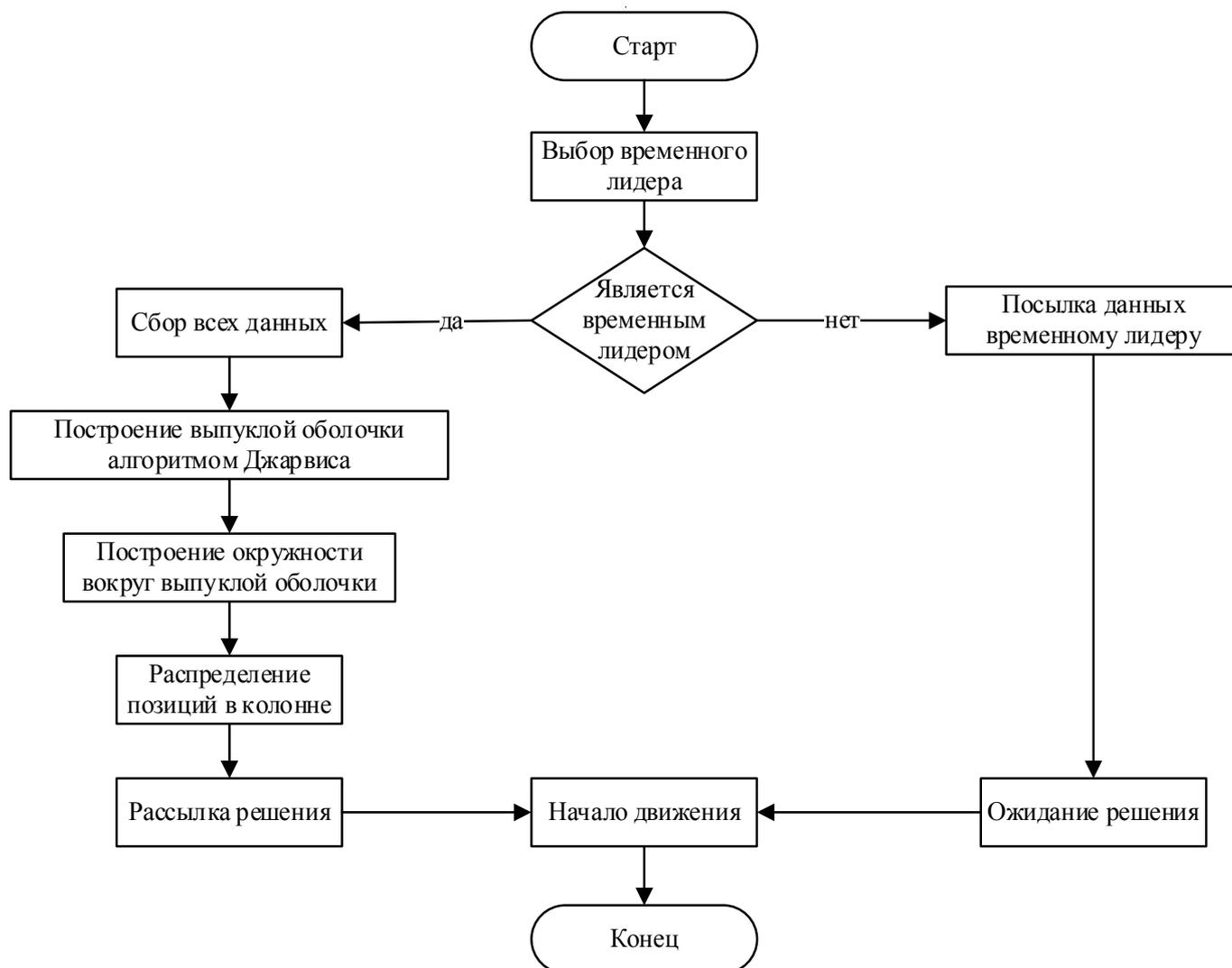


Рис. 1. Общая блок-схема централизованного алгоритма

в котором необходимо ориентировать транспортную колонну.

Количественной характеристикой эффективности алгоритма будем считать коэффициент итогового пути, характеризующий суммарное расстояние, которое прошли транспортные средства от своего первоначального состояния до конечного места в колонне:

$$K_p = \sum_{i=0}^n p_i \rightarrow \min \quad (3)$$

где  $p_i$  — путь, пройденный  $i$ -м транспортным средством,  $i = 1 \dots n$ .

В рамках данной статьи рассматриваются два алгоритма формирования колонны, отличающихся стратегией управления группой, и производится оценка их эффективности. Первый алгоритм использует стратегию

централизованного единоначального управления [3], заключающуюся в наличии в группе управляющего центра (лидера), который осуществляет сбор данных со всех членов группы и осуществляет координацию их действий. Второй алгоритм использует стратегию коллективного управления [3], при которой транспортные средства, обмениваясь данными через канал связи, самостоятельно принимают решение о дальнейших действиях.

#### Стратегия централизованного управления

Алгоритм построения транспортной колонны с централизованным управлением состоит из двух этапов. На первом этапе из членов группы выбирается временный лидер, принимающий решение о способе построения колонны. На втором этапе лидер собирает данные о расположении членов группы на плоскости, принима-

ет решение о структуре колонны и их целевом расположении. Остальные члены группы пересылают лидеру данные о собственном местоположении и ожидают получения решения, не предпринимая никаких действий. После того как каждое транспортное средство получит решение оно начинает процесс в полученные координаты для формирования колонны. Общая блок-схема централизованного алгоритма изображена на рис. 1.

Первый этап заключается в определении временно-го лидера.

Каждое АТС генерирует свой собственный идентификатор  $id$ .

Далее, в течении некоторого времени, между членами группы, находящимися в пределах действия беспроводной сети, происходит обмен множествами идентификаторов  $ID_i = \{id_{i_1}, \dots, id_{i_{K_i}}\}$   $i = 1 \dots n$ ,  $K_i$  — количество с которыми это АТС имеет связь напрямую или через другие АТС. Кроме обмена идентификаторами в рамках процедуры связи происходит пересчет достижимостей между АТС-ами. Если связь происходит напрямую, то достижимость  $d_k, k \in \overline{1, \dots, K_i}$  будет равен 0, если через одно АТС, то 1, если через два АТС то 2 и т.д.

В процессе обмена между АТС  $i$  и  $j$ , каждое из АТС дополняет собственное множество идентификаторов полученными данными и рассылает его остальным транспортным средствам. Например, для АТС с номером  $i$  этот обмен с АТС номером  $j$  будет иметь следующий вид:

$$ID_i = ID_i \cup ID_j \tag{4}$$

В процессе обмена идет уточнение достижимостей для каждого из идентификаторов в множестве  $ID_i$ . Если связь между двумя разными АТС может быть получена с помощью цепочки АТС меньшего размера, то достижимость пересчитывается в соответствии с уточненными данными.

Примем, что для  $i$ -го участника процесс завершается в тот момент, когда время формирования списка превышает значение:

$$T_i = 2 * m_i * \Delta t, \tag{5}$$

где  $m_i$  — количество идентификаторов в списке  $i$ -го участника в текущий момент времени,  $\Delta t$  — время одного цикла приёма, обработки и передачи сообщения.

Завершение процесса формирования списка означает что у  $i$ -го участника сформирован полное множествами транспортных средств.

Дальше, у каждого АТС происходит сравнение своего собственного идентификатора  $id$  с элементами собственного множества идентификаторов  $ID$ .

Временным лидером становится АТС с наименьшим значением идентификатора. Это АТС переходит в режим ожидания данных от остальных АТС. Остальные АТС, определив наименьший идентификатор из списка, отправляют ему собственные начальные координаты  $(x_i, y_i)$  и ранг  $r_i$ , после чего переходят в режим ожидания решения.

На втором этапе, после того как временный лидер обработал все входные данные и сформировал полное множество  $V$ , выполняется распределение позиций между всеми транспортными средствами. Для этого, сначала, из списка  $V$  с помощью алгоритма Джарвиса, формируется множество  $GJ$ , который содержит координаты транспортных средств образующих выпуклую оболочку.

$GJ = \{gj_1, gj_2, \dots, gj_m\}$ , где  $m$  — количество транспортных средств, образующих выпуклую оболочку.

Каждый элемент множества  $GJ$  содержит идентификатор  $i$  транспортного средства и его начальные координаты:

$$gj_i = \{i, (x_i^g, y_i^g)\}$$

Далее формируется окружность вокруг выпуклой оболочки, которая включает в себя все транспортные средства группы. Координаты центра окружности  $(x^o, y^o)$  находятся по формулам (6) и (7) как среднearифметические значения координат транспортных средств, входящих в выпуклую оболочку.

$$x^o = \frac{\sum_{i=1}^m x_i^g}{m} \tag{6}$$

$$y^o = \frac{\sum_{i=1}^m y_i^g}{m}, \tag{7}$$

где,  $(x_i^g, y_i^g)$  — начальные координаты транспортных средств из списка  $GJ$ .

Радиус окружности  $r^o$  рассчитывается по формуле (8) как расстояние до транспортного средства из списка  $G$  максимально удалённого от центра окружности.

$$r^o = \max_{i=1, m} \sqrt{(x^o - x_i^g)^2 + (y^o - y_i^g)^2} \tag{8}$$

где,  $x^o, y^o$  — координаты центра окружности,  $x_i^g, y_i^g$  — координаты транспортного средства из списка  $GJ$ ,  $m$  — количество транспортных средств, образующих выпуклую оболочку.

После того как окружность сформирована, определяются координаты точки пересечения  $(x^c, y^c)$  окружности и прямой  $L$ , проходящей через координаты центра окружности  $(x^o, y^o)$  и координаты целевой точки  $(x^g, y^g)$ .

Найденная точка пересечения  $(x^c, y^c)$  и прямая  $L$  используются как опорные данные для расчёта координат  $(x^u, y^u)$  соответствующих каждой позиции в формируемой колонне. Каждая координата рассчитывается путём откладывания от точки пересечения  $(x^c, y^c)$  вдоль прямой  $L$  расстояния  $D$  в направлении целевой точки рассчитываемого для каждой позиции по формуле (9).

$$D = (n - p) * d \quad (9)$$

где  $n$  — количество транспортных средств в группе,  $p$  — номер позиции,  $d$  — необходимое расстояние между транспортными средствами в колонне.

Конец колонны лежит на окружности, а начало ближе к целевой точке.

После подсчёта всех координат начинается распределение позиций среди всех транспортных средств. Для этого итерационно проходят по каждой позиции определяя для неё оптимальное транспортное средство. На итерации  $p$  среди множества  $V_{p-1}$  определяется АТС, которая будет стоять на месте  $p$  в колонне. На первом шаге множество  $v_0$  соответствует множеству  $V$ .

Из множества  $V_{p-1}$  формируется множество  $F \subset V$  содержащий транспортные средства  $f_i \in F, i = 1, \dots, k_f$ , где  $k_f$  — мощность множества  $F$ . Элементы  $f_i \in F, i = 1, \dots, k_f$  соответствуют оптимальному рангу  $r_i^{op}$  для текущей позиции  $p$ .

После формирования множества  $F$  для каждого транспортного средства  $f_i \in F$ , рассчитывается расстояние от начальных координат транспортного средства  $(x_i^f, y_i^f)$  до координат  $(x_p^u, y_p^u)$  рассчитанных для текущей позиции  $p$ . Затем, из всего списка  $F$  выбирается транспортное средство с наименьшим подсчитанным расстоянием:

$$f_{opt} = \min_{j=1, \dots, k_f} \sqrt{(x_i^f - x_p^u)^2 + (y_i^f - y_p^u)^2} \quad (10)$$

Идентификатор  $id_{opt}$ , определённый по соотношению (10) маркирует транспортное средство, которое будет располагаться в позиции  $p$ .

Координаты  $(x_p^u, y_p^u)$  добавляются в множество  $U$ :

$$U = U \cup (x_p^u, y_p^u). \quad (11)$$

Транспортное средство с идентификатором  $id_{opt}$  удаляется из множества  $V$ :

$$V_p = V_{p-1} \setminus f_{opt} \quad (12)$$

Процесс заканчивается, когда множество  $V_p$  на шаге  $p$  становится пустым, т.е.,  $V_p = \emptyset$ .

После завершения всех итераций сформированное множество  $U$  рассылается всем транспортным средствам группы, и каждое транспортное средство начинает движение в координаты, соответствующие назначенной позиции.

Таким образом будет сформирована колонна АТС при стратегии централизованного управления.

### Стратегия децентрализованного управления

Стратегия децентрализованного управления отличается от централизованного тем, что отсутствует единый узел, принимающий решения за всех членов группы. Поэтому разработанный принцип формирования колонны при децентрализованном управлении заключается в том, что все члены группы договариваются друг с другом о занимаемых позициях в колонне. Причём решение происходит итерационно. Общая блок-схема итерации децентрализованного алгоритма изображена на рис. 2.

На каждой итерации  $p$  определяется одно транспортное средство, которое занимает текущую вакантную позицию  $p$  в колонне. Для его определения на каждой итерации сначала строится ориентированное дерево  $M = (A, B)$ , где  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{np}\}$  — множество узлов дерева,  $n_p$  — количество транспортных средств, являются транспортные средства не определившиеся с позицией на итерации  $p$ ,  $B = \{b_1, \dots, b_{mp}\}$  — это множество ребер  $b_k = \{a_i, a_j\}, k = 1, \dots, m_p, m_p$  — это множество ребер на итерации  $p$ . Ребро  $b_k = \{a_i, a_j\}$  обозначает потенциальную связку ведущих — ведомый между транспортными средствами, причём рёбра ориентированы в направлении от  $a_i$  обозначающего ведущее транспортное средство к  $a_j$  обозначающего ведомое транспортное средство.

Каждый элемент множеств  $A$  может иметь множество исходящих рёбер и только одно входящее. Это обозначает, что каждое транспортное средство может быть привязано только к одному транспортному средству в качестве ведомого и быть потенциальным ведущим для множества других транспортных средств.

Дерево  $M$  строится в два этапа.



Рис. 2. Общая блок-схема одной итерации децентрализованного алгоритма

На первом этапе строится простой ненаправленный граф  $T = (A, C)$  отображающий все возможные связи в пределах действия сети каждого транспортного средства.  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{np}\}$  — это множество узлов графа  $T$ , где  $n_p$  — количество транспортных средств, также, как и для дерева  $M$  являются транспортные средства не определившиеся с позицией на итерации  $p$ .  $C = \{c_1, \dots, c_{qp}\}$  — это множество ребер  $c_k = \{a_i, a_j\}$  определяющих возможность прямой связи, т.е. связи без промежуточных узлов, между транспортным средством  $a_i$  и  $a_j$ ,  $q_p$  — мощность множества  $C$  на итерации  $p$ .

На втором этапе путём отсечения лишних рёбер и ориентирования оставшихся из массива рёбер  $C$  формируется множество ориентированных рёбер  $B$ . Формирование  $B$  происходит по следующему принципу. Для каждого транспортного средства  $a_i$  из множества  $A$  определяется расстояние  $r_{ai}^g$  до целевой точки  $(x^g, y^g)$ . Затем, для каждого узла  $a_j$ , среди всех связанных с ним рёбер ищется ребро, связывающее его с узлом  $a_i$  име-

ющим наименьшее расстояние  $r_{ai}^g$  до целевой точки. Найденное ребро ориентируется в направлении от  $a_i$  к  $a_j$  и добавляется в массив  $B$ . Если такое ребро не найдено, т.е. среди всех связанных с  $a_j$  узлов, собственное расстояние  $r_{aj}^g$  до целевой точки является наименьшим, то узел  $a_j$  является корнем дерева  $M$ , что обозначает что транспортное средство соответствующее этому узлу на текущей итерации займёт текущую вакантную позицию в колонне.

Дальше из дерева  $M$  формируется цепь  $C = (A, W)$ . Узлами цепи  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , где  $n$  — количество транспортных средств входящих в цепь, так же как и прежде являются транспортные средства не определившиеся с позицией на текущей итерации. Рёбрами множества  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ ,  $w_l = \{a_i, a_j\}$ ,  $l$  — количество ребер в множестве  $W$ , обозначается связь между ведущим и ведомым транспортным средством, где так же как и прежде  $a_i$  обозначает ведущее транспортное средство, а  $a_j$  обозначает ведомое транспортное средство.

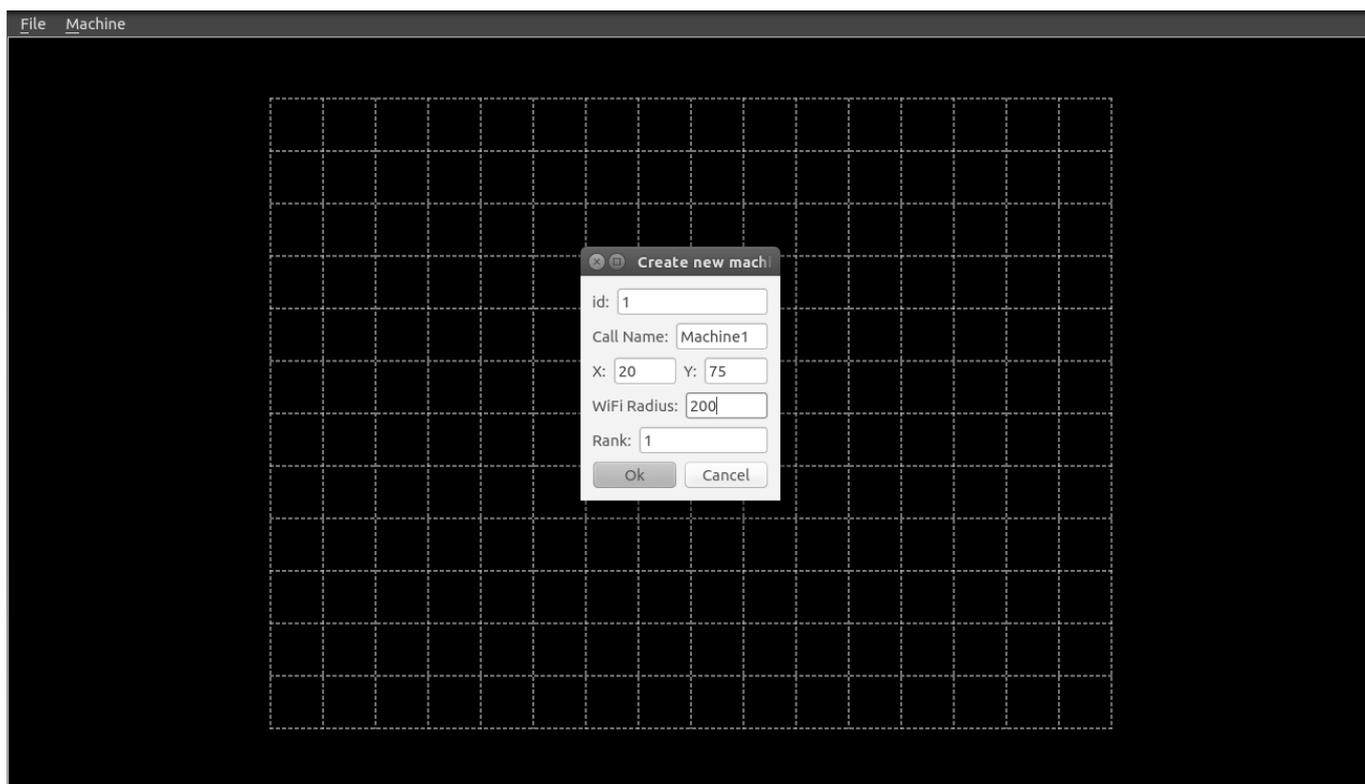


Рис. 3. Ввод исходных данных транспортного средства

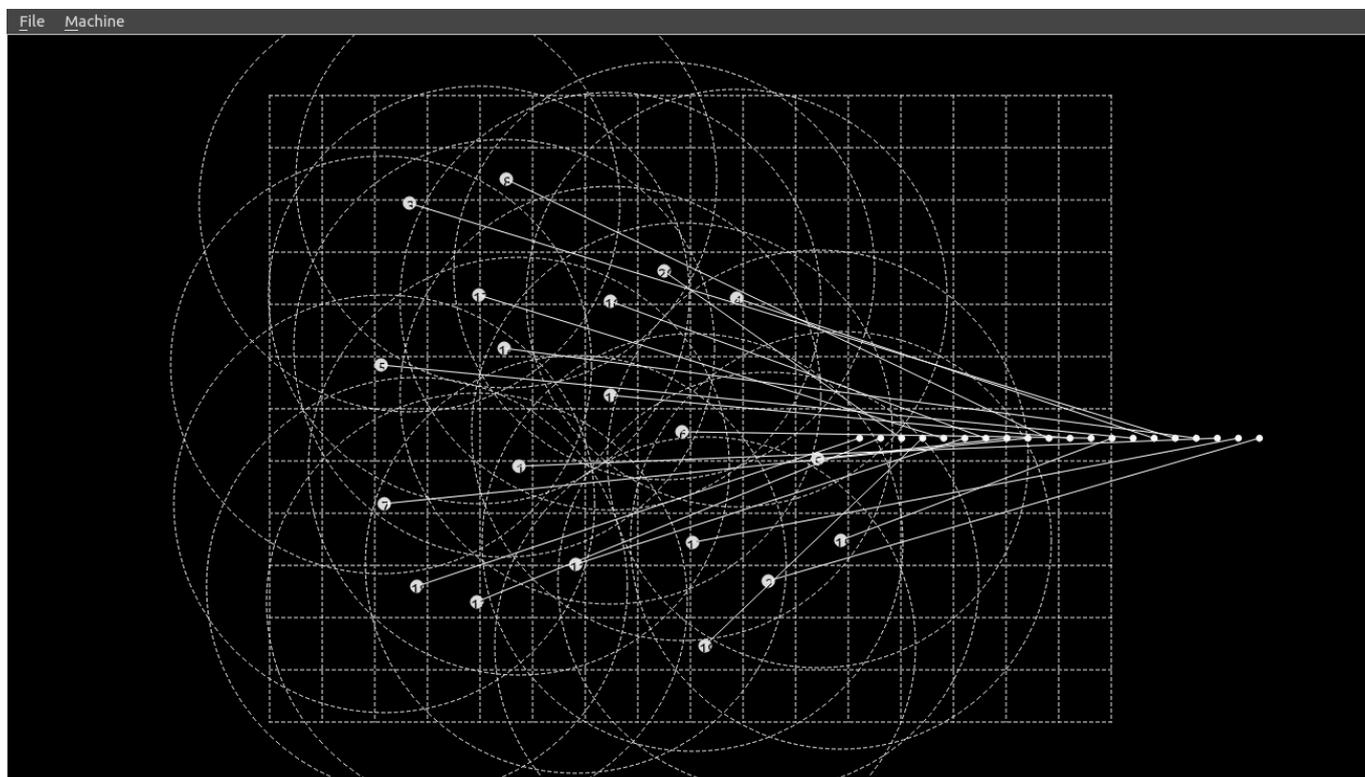


Рис. 4. Результаты работы программы в централизованном режиме

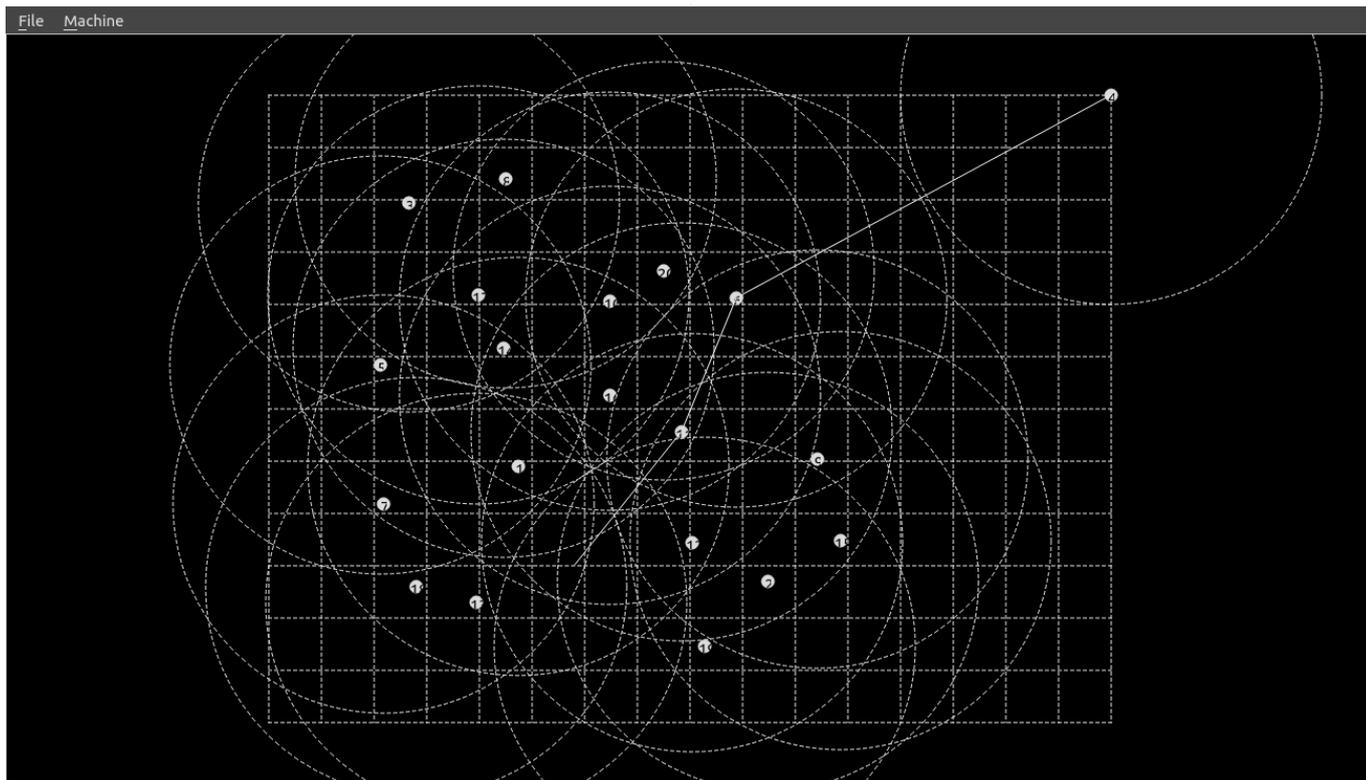


Рис. 5. Визуальное отображение перемещений по результатам промежуточной итерации

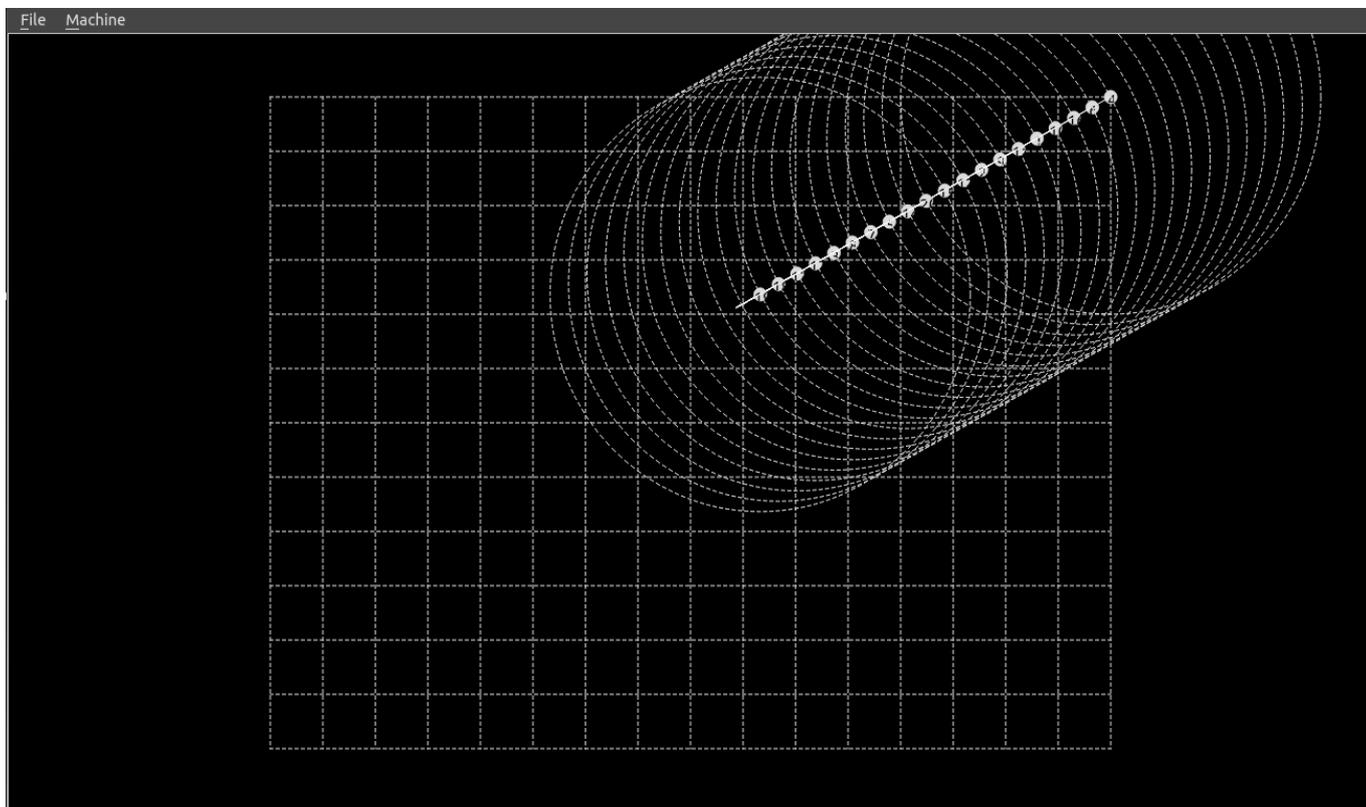


Рис. 6. Результат работы программы в децентрализованном режиме

Формирование цепи происходит по следующему принципу. Корень дерева  $M$  среди всех связанных с ним узлов ищет узел  $a_j$ , обладающий наивысшим рангом  $r_j$  и при этом наименьшим расстоянием  $r_{a_j}^g$  до целевой точки. После нахождения такого узла создаётся

ребро  $w_i = \{a_i, a_j\}$ , где  $a_i$  — корень дерева, а  $a_j$  — найденный узел. Созданное ребро добавляется в цепь  $C$ . После этого найденный узел  $a_j$  повторяет ту же операцию среди всех связанных с ним узлов, за исключением связанного с ним в цепи  $C$  узла  $a_i$ . Данная операция происходит до тех пор пока не будет достигнута одна из вершин дерева  $M$ .

Сформированная цепь  $C$  обозначает цепь перемещений транспортных средств в пределах одной итерации. Каждое ведомое транспортное средство занимает позицию ведущего. А первый узел цепи, занимает текущую вакантную позицию в группе и продвигается на расстояние  $d$ , являющимся необходимым расстоянием между транспортными средствами в колонне, в направлении целевой точки  $(x^g, y^g)$ .

Описанные итерации выполняются до тех пор, пока не будет полностью сформирована колонна из всех транспортных средств. В отличие от централизованного метода, список  $U$  формируется из уже построенной колонны, что в принципе является не обязательным действием.

Важно отметить, что децентрализованный алгоритм формирования колонны описан с точки зрения всей группы. Реализация данного алгоритма подразумевает что каждое транспортное средство не знает всего дерева и цепи целиком, а имеет представление только о связанных с ним транспортных средствах в пределах действия беспроводной сети.

### Апробация разработанных алгоритмов

Для оценки эффективности алгоритмов была разработана программа, позволяющая запускать процедуру расчёта входных данных в двух режимах: централизованный и децентрализованный. В качестве входных данных вводятся координаты целевой точки и до двадцати транспортных средств для каждого из которых задаются начальные координаты, радиус действия беспроводной сети, и ранг транспортного средства (рис. 3.)

При запуске процедуры расчёта создаётся некоторое количество параллельно работающих потоков в соответствии с заданным количеством транспортных средств. Каждый поток моделирует поведение одного

транспортного средства в соответствии с выбранным режимом работы алгоритма. Причём потоки способны обмениваться сообщениями только в том случае если соответствующие им транспортные средства находятся друг у друга в радиусе действия беспроводной сети.

По итогам расчёта при централизованном режиме визуально показывается связь между начальными координатами транспортных средств и координатами в сформированной колонне (рис. 4.)

При децентрализованном режиме в процессе расчёта после каждой итерации визуально отображается перемещение транспортных средств (рис. 5.)

После выполнения всех итераций отображается полностью сформированная колонна транспортных средств (рис. 6.)

Программная реализация выявила как преимущества, так и некоторые недостатки алгоритмов. Преимуществом централизованного подхода является подсчёт кратчайших путей для формирования колонны и получение абсолютно точного соответствия выбранной позиции и заданного ранга для каждого транспортного средства. Однако недостаток такого подхода — это необходимость наличия надёжной системы автопилотирования способной маневрировать в плотном потоке движущихся транспортных средств. Преимуществом децентрализованного подхода является простота перемещений необходимых для формирования группы, что повышает надёжность системы и безопасность движения и исключает необходимость в сложной системе автопилотирования. В тоже время это приводит к более долгому и менее оптимальному по величине суммарного пройденного расстояния, формированию колонны по сравнению с централизованным методом, и не всегда может обеспечить абсолютное соответствие ранга транспортного средства и выбранной позиции в колонне.

### Заключение

Апробация алгоритмов в программной модели показала состоятельность обоих алгоритмов формирования колонны. Однако для дальнейшей проработки был выбран децентрализованный алгоритм формирования колонны. Данный выбор основан на том, что существующая тенденция в развитии систем управления множеством самостоятельных объектов ориентирована на децентрализацию принятия решений. Это повышает приспособляемость и живучесть систем, что в свою очередь позволяет применять такие технологии в более сложных и агрессивных условиях окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Committee on Army Unmanned Ground Vehicle Technology, "Technology Development for Army Unmanned Ground Vehicles", The National Academies Press, Washington, D.C. (2002)
2. Sheikholeslam, and CA. Desoer, CA "Longitudinal control of a platoon of vehicles with no communication of the lead vehicle information", Proceeding of American control conference 3 (1991) 3102–3106
3. Каляев И.А., Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / И.А. Каляев, А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян / М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — С. 280
4. Препарата Ф., Вычислительная геометрия: Введение: Пер. с англ. / Ф. Препарата, М. Шеймос / М.: Мир, 1989. — С. 478.

---

© Ляхманов Дмитрий Александрович ( dm.virger@gmail.com ),

Капранов Сергей Николаевич ( serg.kapranov@gmail.com ), Васильев Роман Александрович ( serg.kapranov@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Нижний Новгород

# РЕАЛИЗАЦИЯ СИГНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХФАЗНОГО ИНВЕРТОРА В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ С ПОМОЩЬЮ УНИФИЦИРОВАННОЙ ШИМ

## IMPLEMENTATION OF CONTROL SIGNALS OF A THREE-PHASE INVERTER IN REAL TIME USING A UNIFIED PWM

*D. Melnikov  
M. Petrovichev*

*Summary.* The article describes a voltage modulation method for high-efficiency voltage generation in a three-phase inverter powered by DC voltage. Considering the method of generating the voltage of the inverter, which consists of six power devices connected in parallel with a reverse diode, it can be found that the output voltage of the inverter is determined by the different voltages between each arm of the inverter and the duration of time during which different voltage is maintained. With optimal use of this time and duration of the strobing pulse, the task of voltage modulation can be greatly simplified, since the output voltage of the inverter is directly synthesized by the "effective time". In the proposed method of wide pulse modulation (PWM), the actual gating time for each arm of the inverter is calculated instantly and simply using the "effective time" displacement algorithm. In addition, by using a single degree of freedom that allows you to move the "effective time" to any location within the sampling interval, various carrier-based PWM strategies can be easily implemented without hardware modification. Consequently, almost instantly, the way the proposed scheme works can be changed to any carrier-based PWM strategy, such as sinusoidal PWM, space-vector PWM, and intermittent modulation schemes.

*Keywords:* control, signal, algorithm, pulse, pulse width modulation, inverter, reference voltage, gating, microcontroller.

*Мельников Дмитрий Владимирович*

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана  
melnikov-dv@eandex.ru*

*Петровичев Максим Александрович*

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана  
tabblif@yandex.ru*

*Аннотация.* В статье описывается метод модуляции напряжения для высокоэффективной генерации напряжения в трехфазном инверторе с питанием от постоянного напряжения. Рассматривая способ генерации напряжения инвертора, который состоит из шести силовых устройств, параллельно соединенных с обратным диодом, можно обнаружить, что выходное напряжение инвертора определяется различными напряжениями между каждым плечом инвертора и продолжительностью времени, в течение которого поддерживается разное напряжение. При оптимальном использовании этого времени и длительности стробирующего импульса задача модуляции напряжения может быть значительно упрощена, поскольку выходное напряжение инвертора непосредственно синтезируется «эффективным временем». В предлагаемом методе широко импульсной модуляции (ШИМ) фактическое время стробирования для каждого плеча инвертора вычисляется мгновенно и просто с помощью алгоритма перемещения «эффективного времени». Кроме того, за счет использования одной степени свободы, которая позволяет перемещать «эффективное время» в любое место в пределах интервала выборки, различные стратегии ШИМ на основе несущей могут быть легко реализованы без модификации аппаратных средств. Следовательно, практически мгновенно, способ работы предложенной схемы может быть изменен на любую стратегию ШИМ на основе несущей, такую как синусоидальная ШИМ, пространственно-векторная ШИМ, и схемы прерывистой модуляции.

*Ключевые слова:* управление, сигнал, алгоритм, импульс, широтно-импульсная модуляция, инвертор, опорное напряжение, стробирование, микроконтроллер.

**Б**лагодаря развитию силовых полупроводниковых устройств и алгоритмов управления электрическими машинами, все больший интерес вызывает разработка более точных методов широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Существует большое разнообразие методов ШИМ [1].

К методу ШИМ предъявляются некоторые требования. Среди них полное использование напряжения звена постоянного тока, что чрезвычайно важно для достижения максимального выходного крутящего момента во всех условиях эксплуатации для приводов ма-

шин переменного тока и для получения запаса управляющего напряжения при повышенном напряжении источника для приложений с трехфазным выпрямителем с ШИМ. Другим важным моментом является минимизация пульсаций тока и (или) общих потерь системы преобразователя мощности, и, разумеется, вся задача модуляции должна иметь простейшую форму, чтобы ее можно было легко применять в реальных приложениях. Для одновременного удовлетворения различных требований, упомянутых выше, следует разработать метод модуляции с точки зрения особенностей работы инвертора.

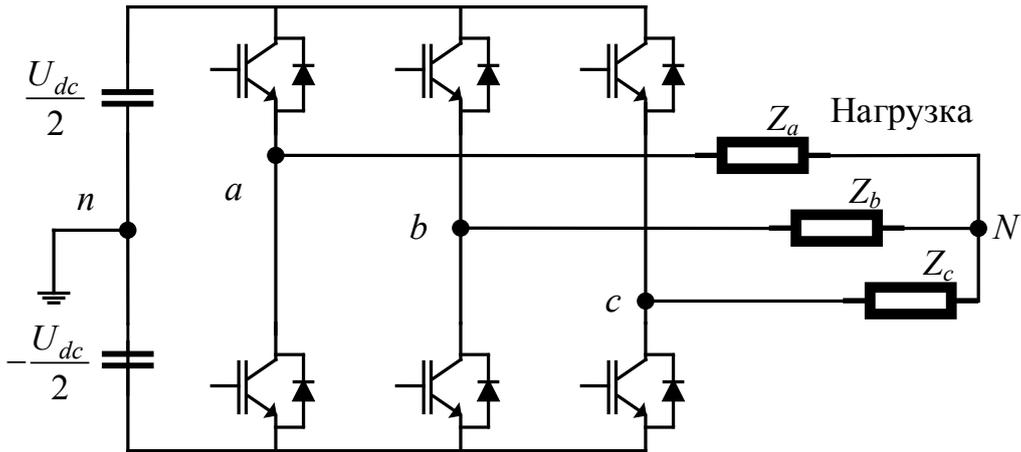


Рис. 1. Трехфазная инверторная система

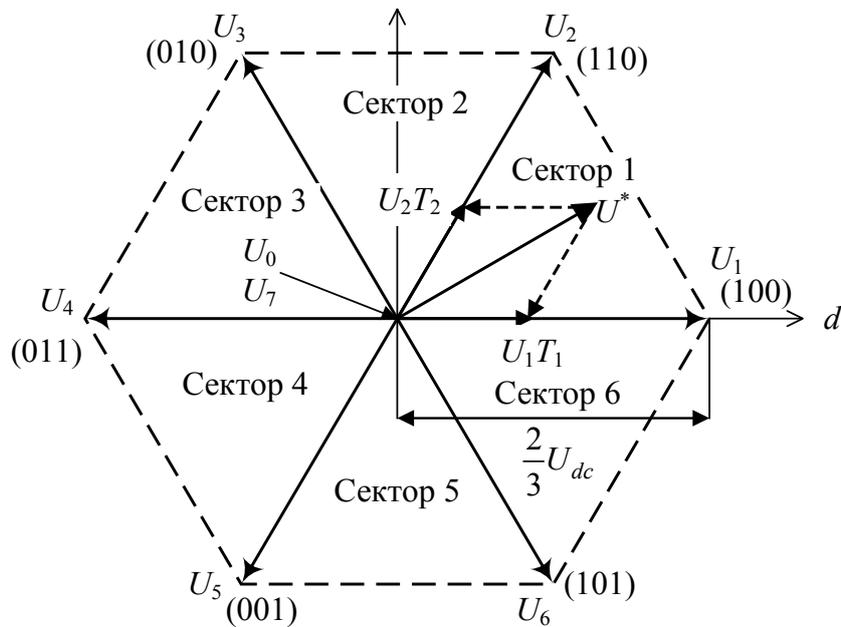


Рис. 2. Пространственно-векторная диаграмма векторов переключения

Рассматривая способ генерации напряжения инвертора с питанием от напряжения, который состоит из шести силовых устройств, параллельно соединенных с обратным диодом, можно обнаружить, что выходное напряжение инвертора определяется различными напряжениями между каждым плечом инвертора и продолжительностью времени, в течение которого поддерживается разное напряжение. Интерес должен быть сосредоточен на продолжительности времени, когда разность напряжений не равна нулю, потому что в течение этого времени создается эффективный поток мощности. Этот интервал времени будет называться «эф-

фективное время», т.е., другими словами, это фактическое время, затраченное на перенос электрической энергии от источника к потребителю. На самом деле идея эффективного времени уже была введена в методе пространственного вектора напряжения (векторный ШИМ) [2, 3, 4]. В этих статьях время приложения для определенного доступного вектора напряжения оценивалось на основе концепции среднего напряжения. На практике эта схема ШИМ превосходит другие схемы с точки зрения использования напряжения в звене постоянного тока и гармоник тока. Тем не менее, реализация этой схемы сложна на практике (на микроконтролл-

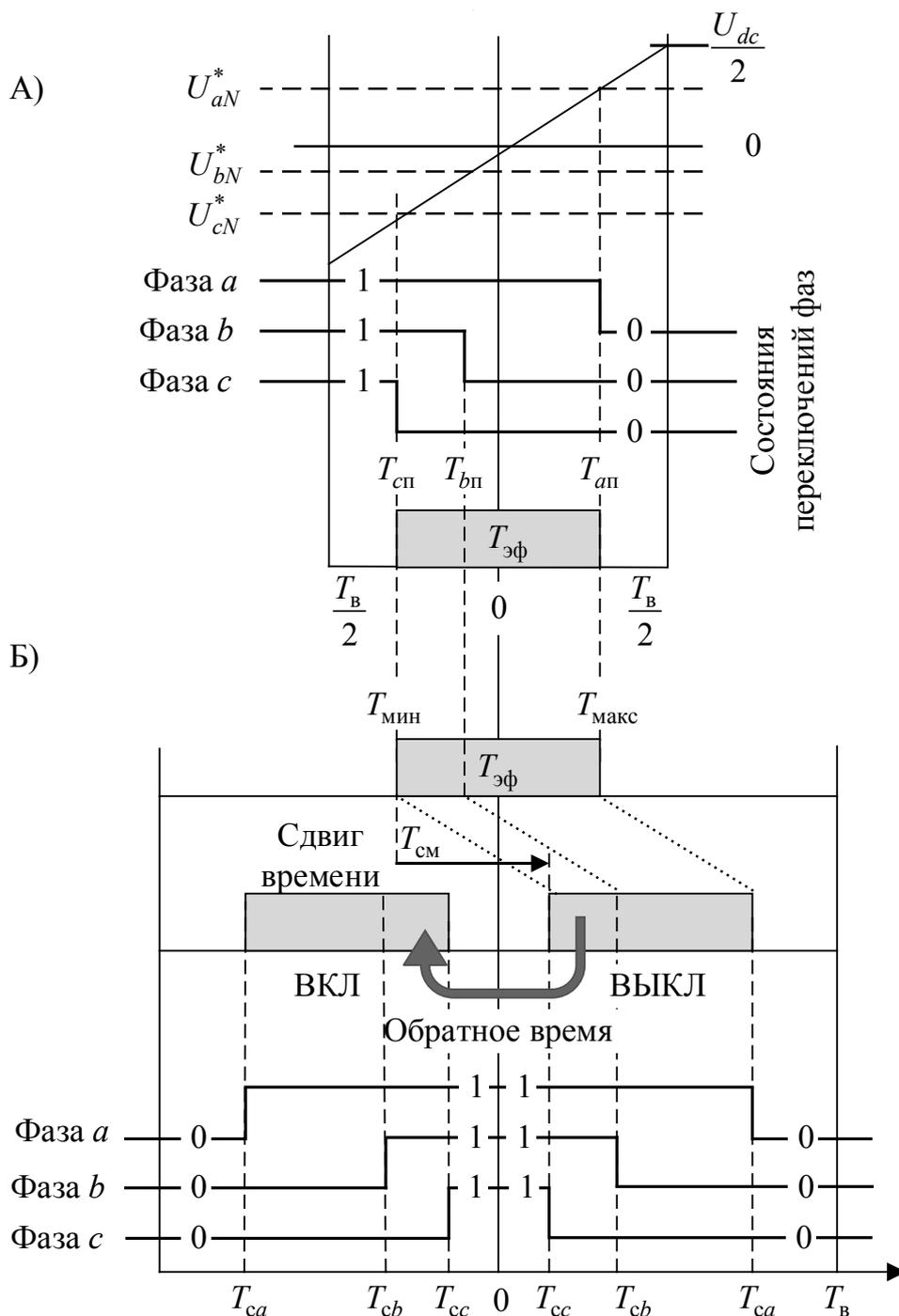


Рис. 3. Унифицированная ШИМ А) взаимосвязь между эффективным временем и выходным напряжением Б) фактическое формирование длительности стробирующего импульса

лере), т.к. время приложения вектора рассчитывается с помощью тригонометрических функций, и необходимо выполнить процесс рекомбинации для расчета фактической длительности стробирующего импульса [3]. Более того, поскольку эта схема оценивалась на основе состояний переключения, взаимосвязь между схемами ШИМ не была определена.

Рассмотрим новый метод модуляции напряжения под названием «унифицированная модуляция напряжения». При правильном использовании концепции эффективного времени задача модуляции напряжения может быть значительно упрощена, поскольку выходное напряжение инвертора непосредственно синтезируется «эффективным временем». В предлагаемом

методе ШИМ фактическое время стробирования для каждого плеча инвертора вычисляется сразу (мгновенно) и просто с помощью алгоритма перемещения «эффективного времени». Кроме того, за счет использования одной степени свободы, которая позволяет перемещать «эффективное время» в любое место в пределах интервала выборки, различные стратегии ШИМ на основе несущей могут быть легко реализованы без модификации аппаратных средств. Следовательно, практически мгновенно, способ работы предложенной схемы может быть изменен на любую стратегию ШИМ на основе несущей, такую как синусоидальная ШИМ, векторная ШИМ, и схемы прерывистой модуляции. Широко используемая схема перемодуляции также просто реализуется с помощью концепции эффективного времени.

На рис. 1 представлен типичный силовой каскад трехфазного инвертора и эквивалентная схема нагрузки. На рис. 2 представлены восемь доступных различных векторов переключения [3, 4]. Состояние переключения «1» означает открытие верхнего транзистора одного плеча, а напряжение на полюсе ( $U_{an}, U_{bn}, U_{cn}$ ) будет составлять половину значения напряжения в звене постоянного тока. Индекс модуляции определим как отношение амплитуды фазного напряжения к  $U_{dc} / 2$  (обозначим его  $M$ ).

Состояния переключения каждого плеча должны сочетаться друг с другом, чтобы получить требуемое трехфазное выходное напряжение. Поскольку каждое напряжение  $U_{an}, U_{bn}, U_{cn}$  (назовем его полюсным) имеет только два уровня в соответствии с состоянием переключения, продолжительность времени, в течение которого поддерживаются различные напряжения, определенно связана с задачей модуляции напряжения. Поэтому задачу модуляции можно значительно упростить, если учесть зависимость между длительностью импульса и выходным напряжением.

Рассмотрим «эффективное напряжение», которое создает фактический переток мощности между инвертором и нагрузкой. Как показано на рис. 3, когда состояния переключения каждой фазы изменяются с 0 на 1 в разное время в течение одного интервала выборки, на сторону нагрузки подается эффективное напряжение.

Параметр  $T_g$  обозначает время получения выборки, а  $T_{эф}$  обозначает продолжительность времени, в течение которого поддерживается различное напряжение.  $T_{эф}$  называется «эффективным временем». Это значение напрямую связано с фазным напряжением, и может быть определено следующим образом.

$$\frac{U_{aN}^*}{U_{dc}} = \frac{T_{ап}}{T_B} \Rightarrow T_{ап} = \frac{T_B}{U_{dc}} \cdot U_{aN}^*,$$

$$\frac{U_{bN}^*}{U_{dc}} = \frac{T_{бп}}{T_B} \Rightarrow T_{бп} = \frac{T_B}{U_{dc}} \cdot U_{bN}^*,$$

$$\frac{U_{cN}^*}{U_{dc}} = \frac{T_{сп}}{T_B} \Rightarrow T_{сп} = \frac{T_B}{U_{dc}} \cdot U_{cN}^*.$$

где  $U_{aN}^*, U_{bN}^*, U_{cN}^*$  — опорные напряжения. Эти время переключения ( $T_{ап}, T_{бп}, T_{сп}$ ) могут быть отрицательными (задано отрицательное фазное напряжение). Поэтому в данной случае это время является «мнимым временем переключения».

Эффективное время может быть определено как продолжительность времени между наименьшим и наибольшим из трех мнимых времен, как указано

$$T_{эф} = T_{макс} - T_{мин},$$

где

$$T_{мин} = \min(T_{ап}, T_{бп}, T_{сп}), T_{макс} = \max(T_{ап}, T_{бп}, T_{сп}).$$

Когда фактические стробирующие сигналы для силовых устройств генерируются в алгоритме ШИМ, существует одна степень свободы, с помощью которой эффективное время может быть перемещено в любое место в пределах интервала выборки. Следовательно, к мнимым временам переключения будет применена операция временного смещения (сдвига), чтобы сгенерировать фактические времена стробирования ( $T_{ca}, T_{cb}, T_{cc}$ ) для каждого плеча инвертора, как показано на рис. 3Б. Эта задача выполняется путем добавления одного и того же значения к мнимому времени следующим образом:

$$T_{ca} = T_{ап} + T_{см},$$

$$T_{cb} = T_{бп} + T_{см},$$

$$T_{cc} = T_{сп} + T_{см},$$

где  $T_{см}$  — время смещения.

Эта задача определения времени стробирования выполняется только для интервала выборки, в котором все состояния переключения каждого плеча переходят от 1 к 0. Этот интервал называется «последовательностью ВЫКЛ». В другой последовательности (от 0 к 1) она называется «последовательностью ВКЛ». Чтобы сгенерировать симметричную схему импульсов переключения в течение двух интервалов выборки, фактическое время переключения будет заменено значением вычитания, при этом время выборки будет следующим:

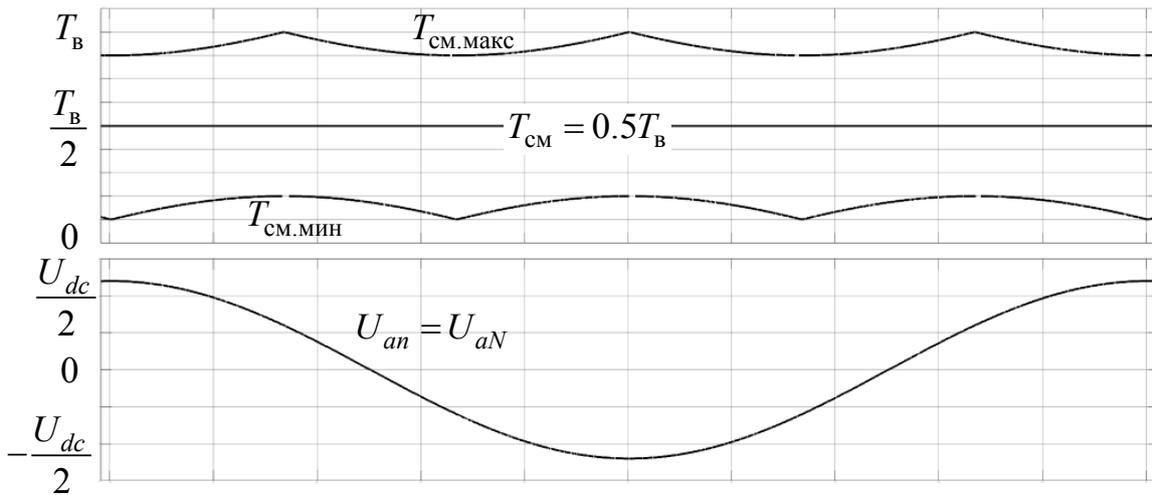


Рис. 4. Время смещения, фазное и полюсное напряжения синусоидальной ШИМ ( $M = 0,8$ ).

$$\begin{aligned} T_{ca} &= T_B - T_{ca}, \\ T_{cb} &= T_B - T_{cb}, \\ T_{cc} &= T_B - T_{cc}. \end{aligned}$$

Для гарантированного использования полного напряжения звена постоянного тока, фактическая длительность стробирующего импульса должна быть ограничено значением от 0 до  $T_B$  следующим образом:

$$0 \leq T_{мин} + T_{см}, \quad T_{макс} + T_{см} \leq T_B.$$

Исходя из вышесказанного, диапазон доступного времени смещения может быть рассчитан следующим образом:

$$T_{см.мин} \leq T_{см} \leq T_{см.макс},$$

где

$$T_{см.мин} = -T_{мин}, \quad T_{см.макс} = T_B - T_{макс}.$$

$T_{см.мин}$  и  $T_{см.макс}$  — доступные минимальное и максимальное значения смещения соответственно.

Покажем, что различные схемы ШИМ могут быть получены путем произвольного изменения  $T_{см}$  (между  $T_{см.мин}$  и  $T_{см.макс}$ ).

#### А. Синусоидальный ШИМ.

Синусоидальная схема ШИМ является классическим и широко используемым методом. В этом случае нет разницы между фазным напряжением ( $U_{aN}$ ) и полюсным напряжением ( $U_{an}$ ). Следовательно, коэффициент

заполнения фазы А выходного импульса инвертора становится равным

$$\frac{T_{ca}}{T_B} = \frac{1}{2} + \frac{U_{an}^*}{U_{dc}} = \frac{1}{2} + \frac{U_{aN}^*}{U_{dc}}$$

и  $T_{ca}$  может быть переставлен как

$$T_{ca} = \frac{T_B}{2} + \frac{T_B}{U_{dc}} U_{aN}^* = \frac{T_B}{2} + T_{ан}.$$

Следовательно, для реализации синусоидальной ШИМ значение смещения определяется следующим образом:

$$T_{см} = \frac{1}{2} T_B. \tag{1}$$

Как известно, этот метод ШИМ имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что линейный диапазон регулируемого напряжения ограничен индексом модуляции 1. Этот недостаток вызван неоптимальным расположением эффективного времени. Здесь независимо от условий работы положение эффективного времени всегда фиксировано. На рис. 4 показаны время смещения и фазное и полюсное напряжение синусоидальной схемы ШИМ. Полюсное напряжение в этом случае синтезируется с использованием рассчитанной длительности стробирующего импульса по следующему уравнению:

$$U_{an} = \left( \frac{T_{ca}}{T_B/2} - 1 \right) \frac{U_{dc}}{2}.$$

#### Б. Пространственно-векторный ШИМ (ПВШИМ)

Метод ПВШИМ оценивается на основе концепции среднего напряжения в течение одного периода вы-

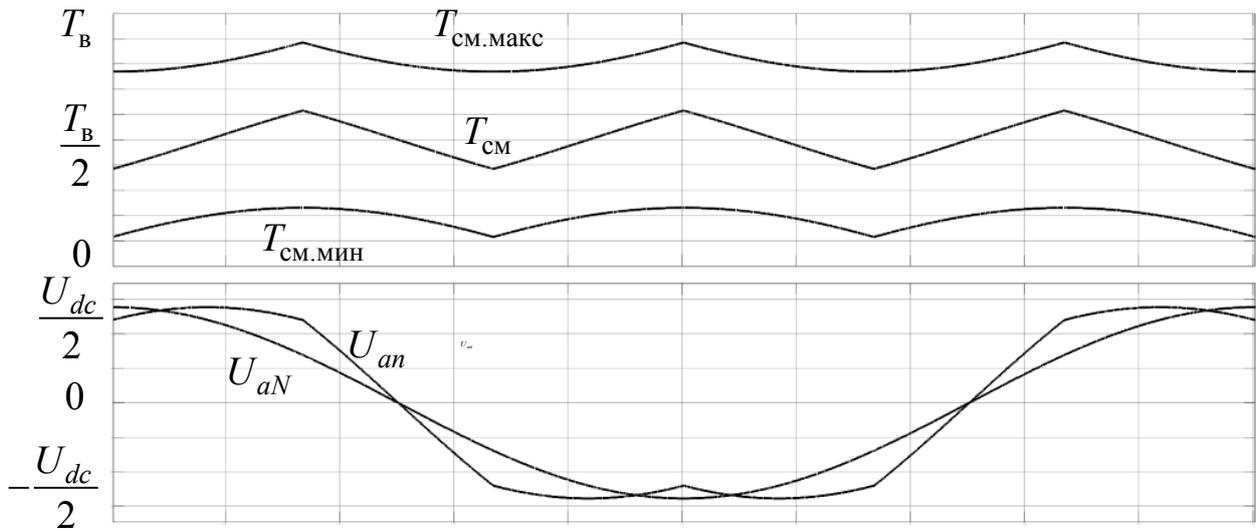


Рис. 5. Время смещения, фазное и полюсное напряжения ПВШИМ ( $M = 0,8$ ).

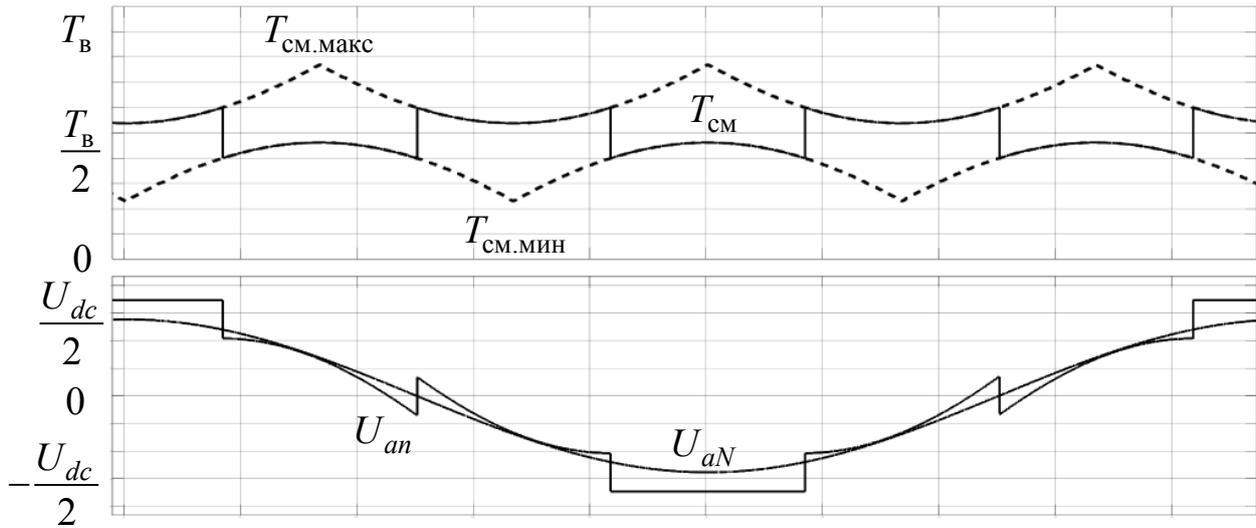


Рис. 6. Время смещения, фазное и полюсное напряжения 60° ПШИМ ( $M = 0,8$ ).

борки. Если вектор постоянного опорного напряжения задан в области шестиугольника, как показано на рис. 2, то этот вектор может быть представлен двумя ближайшими активными векторами следующим образом [3, 4]:

$$U^* = (T_1 U_n + T_2 U_{n+1}) / T_B,$$

а время  $T_1, T_2$  выводится через систему координат  $U_d^{s*}, U_q^{s*}$  [4]:

$$T_1 = \frac{\sqrt{3}T_B}{U_{dc}} \left[ \sin\left(\frac{\pi}{3}m\right)U_d^{s*} - \cos\left(\frac{\pi}{3}m\right)U_q^{s*} \right]$$

$$T_2 = \frac{\sqrt{3}T_B}{U_{dc}} \left[ -\sin\left(\frac{\pi}{3}(m-1)\right)U_d^{s*} + \cos\left(\frac{\pi}{3}(m-1)\right)U_q^{s*} \right]$$

$$T_0 = T_B - T_1 - T_2$$

где  $U_d^{s*} = |U^*| \cos(\theta), U_q^{s*} = |U^*| \sin(\theta),$   
 $\theta = \alpha + (\pi/3)(m-1), m$  — номер сектора (1, 2, ..., 6).

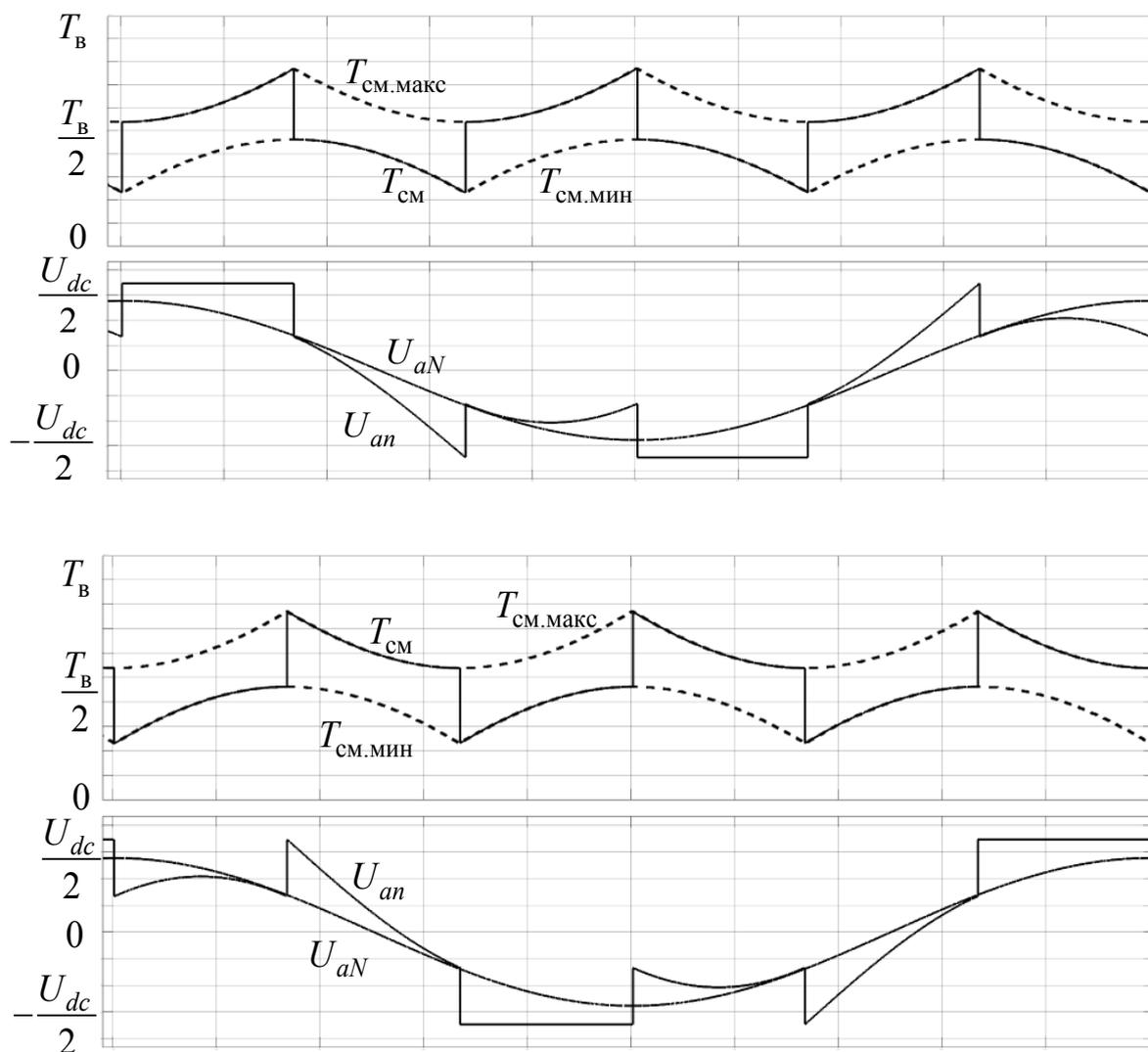


Рис. 7. Время смещения, фазное и полюсное напряжения ШИМ со сдвигом  $\pm 30^\circ$  от  $60^\circ$  ПШИМ ( $M = 0,8$ ).

Время подачи означает продолжительность, в течение которой прикладываются активные напряжения, но не подразумевает фактическую длительность стробирующего импульса (время стробирования).

Следовательно, чтобы рассчитать фактическое время стробирования, время подачи должно быть повторно объединено со временем подачи нулевого напряжения  $T_0$  в соответствии с положением опорного вектора. В этом методе ШИМ время подачи нулевого напряжения распределяется симметрично в начале и в конце интервала дискретизации симметричным образом. Следовательно, чтобы использовать этот метод ШИМ для работы инвертора, необходимо выполнить более сложную задачу для определения номера сектора и комбинации времени подачи. Такой способ является

довольно сложным при реализации в практических приложениях.

Однако можно восстановить фактическую длительность стробирующего импульса без сложных вычислений, применяя концепцию эффективного времени. Если время нулевого напряжения симметрично распределено в одном периоде дискретизации, вся задача модуляции для ПВШИМ легко решается с помощью предложенного алгоритма. Более подробное объяснение представлено в [5]. Чтобы переместить эффективное время в центр интервала дискретизации, значение смещения времени  $T_{см}$  должно быть равно

$$T_{см} = \frac{1}{2}T_0 - T_{мин},$$

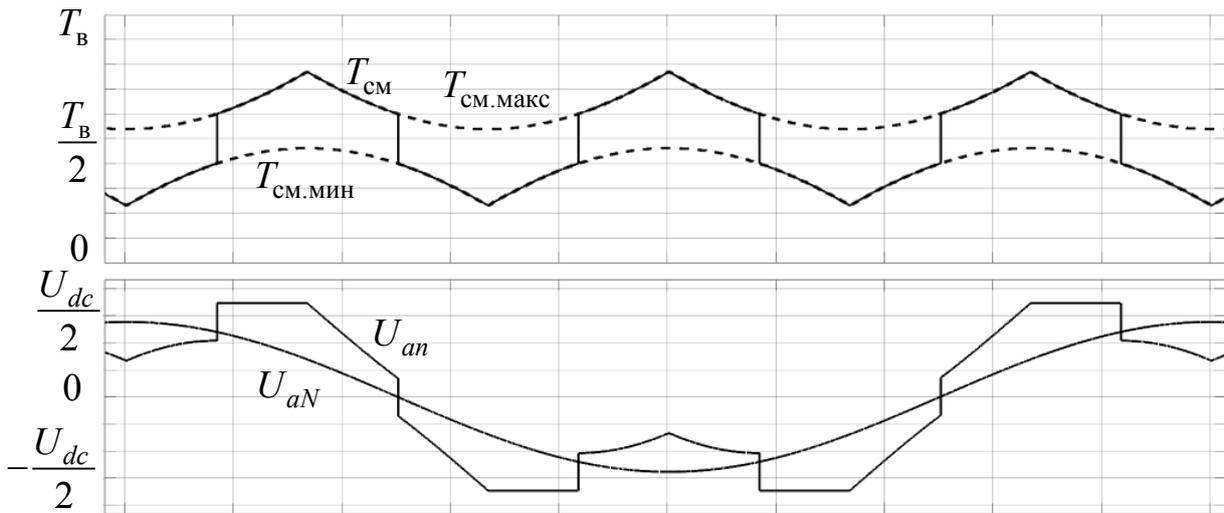


Рис. 8. Время смещения, фазное и полюсное напряжения 30° ПШИМ ( $M = 0,8$ ).

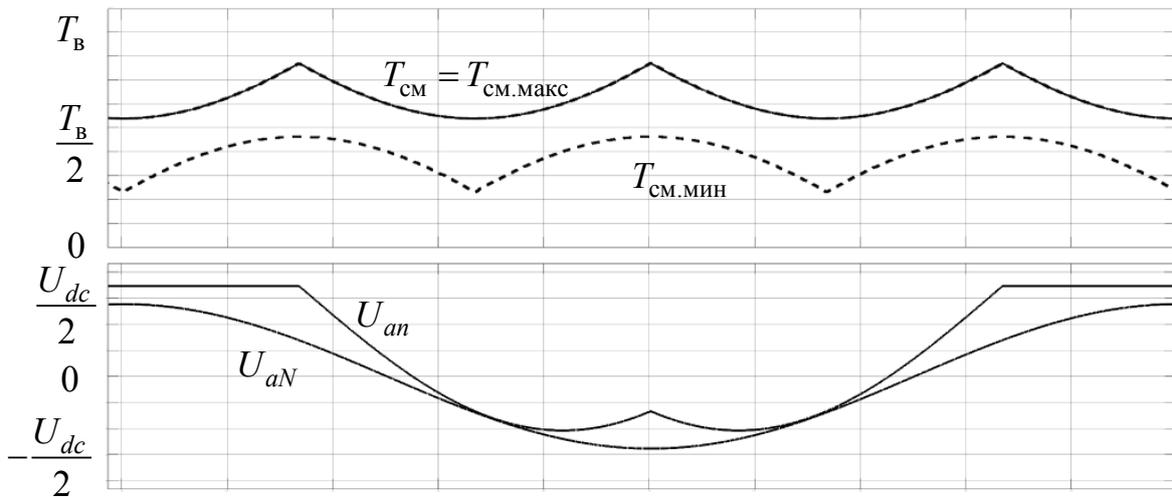


Рис. 9. Время смещения, фазное и полюсное напряжения 120° ПШИМ ( $M = 0,8$ ),  $T_{CM} = T_B - T_{МАКС}$ .

где

$$T_0 = T_B - T_{эф}. \tag{2}$$

На рис. 5 показаны время смещения, фазное и полюсное напряжение схемы ПВШИМ. Отмечается, что время смещения составляет середину  $T_{CM.мин}$  и  $T_{CM.макс}$ . Для этой схемы максимальный коэффициент модуляции составляет  $M = 2/\sqrt{3} = 1,154$ .

**С. Схемы прерывистой модуляции (ПШИМ)**

Эти схемы ШИМ, которые также приводит к максимальному диапазону модуляции, как и ПВШИМ, использует операцию прерывистого переключения. В этом случае каждый выход ветвей инвертора попеременно оставляют на положительной или отрицательной шине напряжения звена на интервале 120° электрического периода. Хотя эта схема ШИМ обычно приводит к более высоким гармоникам тока по сравнению с ПВШИМ, она представляет особый интерес, поскольку снижает среднюю частоту переключения на 33% и, таким образом, приводит к меньшим потерям на переключения ключей.

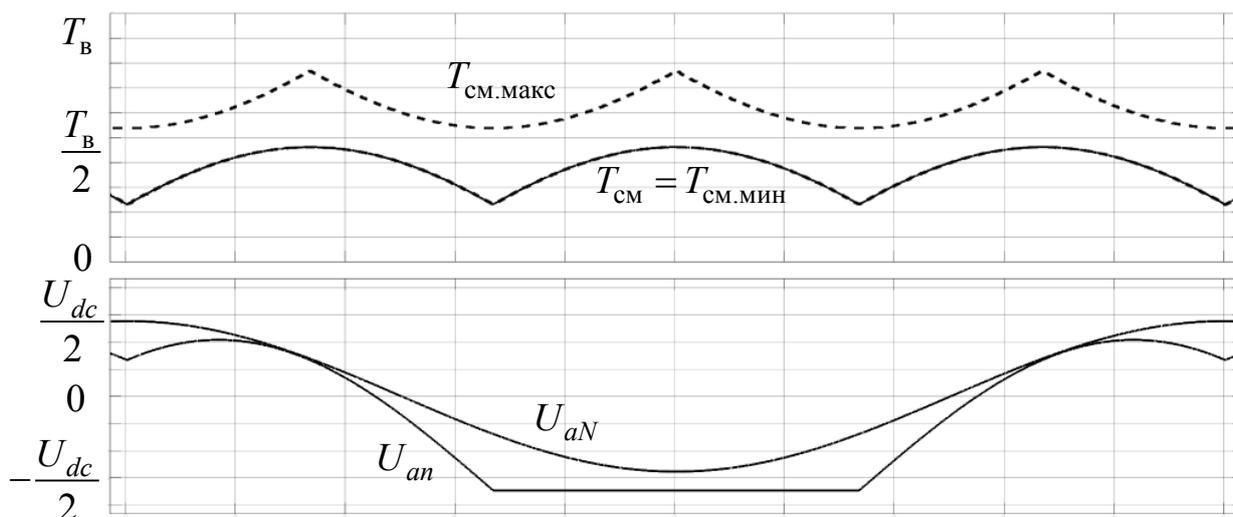


Рис. 10. Время смещения, фазное и полюсное напряжения  
 $120^\circ$  ПШИМ ( $M = 0,8$ ),  $T_{см} = -T_{мин}$ .

Среди разнообразия ШИМ с прерывистой модуляцией (ПШИМ), особый интерес представляет ШИМ для линейного преобразователя, так как позволяет минимизировать потери при переключении (рис. 6). Принцип этой схемы ШИМ можно изобразить с точки зрения эффективного времени следующим образом. Если опорное напряжение фазы положительное (или отрицательное) и имеет максимальную величину, переключатель фазы должен быть зафиксирован в положении ВКЛ (или ВЫКЛ). То есть,

$$\text{если } T_{мин} + T_{макс} \geq 0 \Rightarrow T_{макс} + T_{см} = T_B,$$

$$\text{если } T_{мин} + T_{макс} < 0 \Rightarrow T_{мин} + T_{см} = 0.$$

Таким образом, значение временного сдвига равно

$$\text{если } T_{мин} + T_{макс} \geq 0 \Rightarrow T_{см} = T_B - T_{макс},$$

$$\text{если } T_{мин} + T_{макс} < 0 \Rightarrow T_{см} = -T_{мин}. \quad (3)$$

В некоторых приложениях с точки зрения минимизации гармоник тока требуется изменить последовательность включения инвертора с ПВШИМ на эту схему или обратно [6, 7]. В предлагаемом унифицированном методе ШИМ этот переход может быть выполнен плавно, путем изменения только времени смещения с (2) на (3) или обратно.

Сдвиг продолжительности включения на  $\pm 30^\circ$  секунд возможен без ограничения диапазона модуляции. Продолжительность включения для каждого плеча инвертора сдвинута на  $30^\circ$ , чтобы минимизировать потери при переключении в соответствии с коэффициентом мощности нагрузки. Эта схема ШИМ также легко реали-

зуется путем изменения времени смещения в предлагаемой схеме, как показано на рис. 7.

Рассмотрим  $30^\circ$ -ю прерывистую схему ШИМ. В этой схеме коммутационные потери не зависят от фазового угла, так как область ВКЛ распределена равномерно по основному периоду, гармоники тока наименьшие среди прерывистых ШИМ. Схема переключения этой схемы противоположна упомянутой выше  $60^\circ$  ШИМ. Таким образом, время смещения определяется выражением

$$\text{если } T_{мин} + T_{макс} \geq 0 \Rightarrow T_{см} = -T_{мин},$$

$$\text{если } T_{мин} + T_{макс} < 0 \Rightarrow T_{см} = T_B - T_{макс}.$$

В схемах  $120^\circ$  ПШИМ полюсное напряжение не является полуволновым симметричным и содержит постоянную составляющую. С точки зрения времени смещения можно записать следующие уравнения. Для схемы ШИМ, представленной на рис. 9

$$T_{см} = T_B - T_{макс},$$

а для схемы ШИМ рис. 10

$$T_{см} = -T_{мин}.$$

Как видно на рис. 9, различные ШИМ можно синтезировать путем изменения параметра  $T_{см}$ .

Как видно на рис. 10, различные ШИМ можно синтезировать путем изменения параметра  $T_{см}$ .

Предложенный метод модуляции напряжения, использующий концепцию эффективного времени, может быть реализован на базе микроконтроллера без каких-либо таблиц и тригонометрических функций и мо-

жет быть легко применен в промышленных приложениях. Благодаря присущей предлагаемой схеме простоте изменение схемы модуляции в реальном времени осуществляется плавно.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Holtz, "Pulsewidth modulation — A survey," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 39, pp. 410–420, Oct. 1992.
2. H.W. Van der Broeck and H.C. Skudelny, "Analysis and realization of a pulse width modulator based on voltage space vectors," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 24, pp. 142–150, Jan./Feb. 1988.
3. К пониманию векторной системы широтно-импульсной модуляции инвертора напряжения / А.А. Емельянов, Д.И. Пестеров, А.С. Вотяков [и др.].— Текст: непосредственный // Молодой ученый.— 2017.— № 52 (186).— С. 1–14.— URL: <https://moluch.ru/archive/186/47596/> (дата обращения: 26.10.2022).
4. Шрейнер, Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. — Екатеринбург: УРО РАН, 2000. — 654 с.
5. J.W. Kolar, H. Ertl, and F.C. Zach, "Influence of the modulation method on the conduction and switching losses of a PWM converter system," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 27, pp. 1063–1075, Nov./Dec. 1991.
6. Шрейнер, Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. — Екатеринбург: УРО РАН, 2000. — 654 с.
7. Калачёв, Ю.Н. SimInTech: моделирование в электроприводе / Калачёв Ю.Н. — Москва: ДМК Пресс, 2019. — 98 с. — ISBN978–5–97060–766–4.— Текст: электронный // ЭБС «Консультант студента»: [сайт].— URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970607664.html> (дата обращения: 08.11.2022).

© Мельников Дмитрий Владимирович ( melnikov-dv@eandex.ru ), Петровичев Максим Александрович ( tabblif@yandex.ru ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



# КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОТНОСИТЕЛЬНОГО МАНИПУЛИРОВАНИЯ

## KINEMATIC RESEARCH OF THE JOINT RELATIVE MANIPULATION MECHANISM

**S. Orekhov  
A. Skadin  
V. Sakharov  
S. Glebov  
A. Prosvernin**

*Summary.* The purpose of the work: to conduct a kinematic research of the joint relative manipulation mechanism, for the further development of an executive-level control system that ensures movement along the formed trajectory. The objectives of this research are to conduct a kinematic research of the joint relative manipulation mechanism, and to verify the data received, to build a working area. Conclusions: A kinematic research of the mechanism was carried out (the direct and inverse problem was solved), verification of the data obtained was carried out, the working area of the mechanism was built.

*Keywords:* joint relative manipulation mechanisms, kinematic research.

**Орехов Сергей Юрьевич**

Старший преподаватель, Калужский филиал  
Московского государственного технического  
университета имени Н.Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет)  
serg31057@mail.ru

**Скадин Артём Владимирович**

Калужский филиал Московского государственного  
технического университета имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)  
a.skadin@mail.ru

**Сахаров Владимир Валентинович**

Старший преподаватель, Калужский филиал  
Московского государственного технического  
университета имени Н.Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет)  
vlad.saharov2011@yandex.ru

**Глебов Сергей Александрович**

Доцент, к.ф.-м.н., Калужский филиал Московского  
государственного технического университета имени  
Н.Э. Баумана (национальный исследовательский  
университет)  
saglebov@bmstu.ru

**Просвернин Андрей Андреевич**

Калужский филиал Московского государственного  
технического университета имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)  
aprosvernin@mail.ru

*Аннотация.* Цель работы: провести кинематическое исследование механизма относительного манипулирования, для дальнейшей разработки системы управления исполнительного уровня, обеспечивающей движение по сформированной траектории. Задачи данного исследования заключаются в проведение кинематического исследования выбранного механизма относительного манипулирования, и проведения верификации полученных данных, построить рабочую зону. Выводы: Произведено кинематическое исследование механизма (решена прямая и обратная задача), проведена верификация полученных данных, была построена рабочая зона механизма.

*Ключевые слова:* механизмы относительного манипулирования, кинематическое исследования.

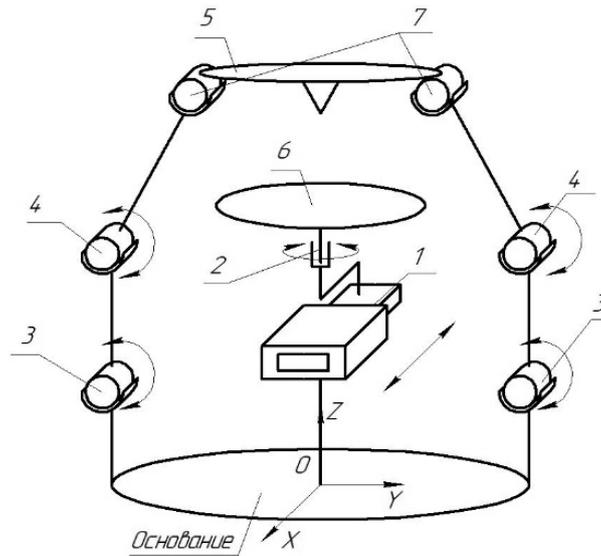


Рис. 1. Кинематическая схема механизма относительного манипулирования

**Д**анная работа посвящена кинематическому исследованию механизма относительного манипулирования для дальнейшей разработки системы управления [1], [2], [3]. Механизмы относительного манипулирования предназначены для замены человека при выполнении основных и вспомогательных технологических операций в процессе промышленного производства. При этом решается важная задача — освобождение человека от работ, связанных с опасностями для здоровья или с тяжелым физическим трудом, а также от простых монотонных операций, не требующих высокой квалификации.

Анализ работы  
исследуемого механизма

Для раскрытия процесса создания и функционирования системы управления манипуляционными механизмами в данной работе выбрана определённая кинематическая модель. Модель представляет собой механизм относительного манипулирования, обладающий пятью степенями свободы и состоящий из двух модулей (рисунок 1.): модуля установки инструмента и модуля установки обрабатываемого объекта (детали).

Рассматриваемы механизм относительного манипулирования — пространственный механизм — включает основание, выходное звено модуля установки инструмента 5, выполненное в виде пятизвенного механизма, выходное звено модуля установки обрабатываемого объекта 6, выполненное в виде поворотного механизма. Выходное звено 6 связано основанием установленной на основании поступательной кинематической парой (линейным двигателем) 1, и еще одной враща-

тельной кинематической парой (вращательным двигателем) 2, сопряженной непосредственно с выходным звеном 6. Выходное звено 5, связано с основанием двумя кинематическими цепями. Выходное звено связано с установленными на основании двумя вращательными приводными кинематическими парами (вращательными двигателями) 3, связанными непосредственно с промежуточными приводными вращательными парами 4, в свою очередь связанными с конечными не приводными вращательными кинематическими парами 7. Механизм выполнен в виде единой пространственной конструкции.

Механизм работает следующим образом: относительно основания выходное звено модуля установки обрабатываемого объекта (детали) 6 и модуля установки инструмента 5 посредством трех приводных кинематических цепей, при действии двигателей вращательного движения 2, и поступательного движения 1, и двигателей вращательного движения 3, 4, движение передается выходным звеньям 5 и 6 соответственно.

Кинематическое  
исследование

Решение прямой задачи кинематики

1. Обозначим необходимые для расчёта размеры исследуемого механизма (рисунок 2):

$$l_{11} = l_{r1} = 0,185m; h_1 = 0,06m; h_2 = 0,04m;$$

$$h_{13} = h_{r3} = 0,04m; h_{14} = h_{r4} = 0,15m;$$

$$h_{15} = h_{r5} = 0,18m; l_{15} = l_{r5} = 0,05m; h_6 = 0,051m.$$

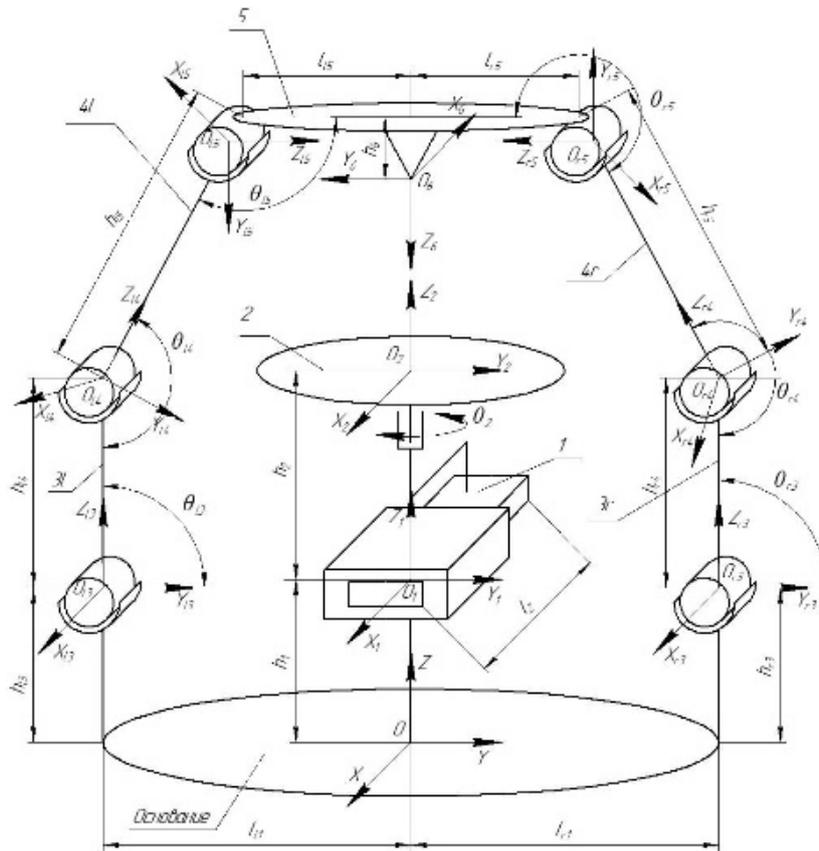


Рис. 2. Кинематическая схема

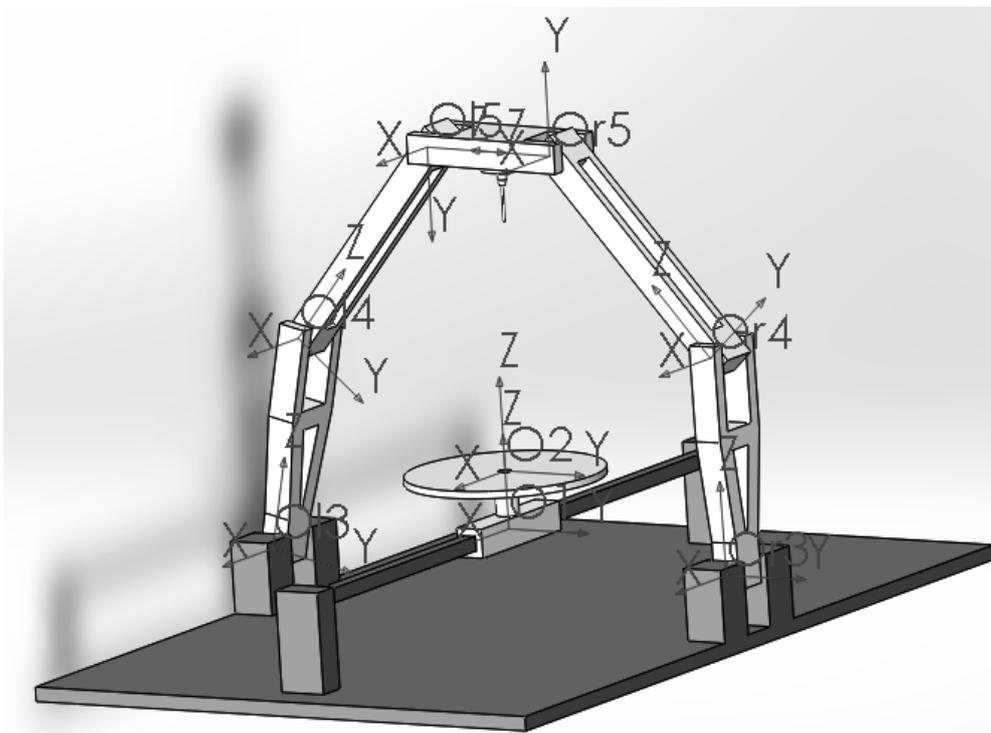


Рис. 3. Трёхмерная модель механизма в среде SolidWorks

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & q_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & h_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$


---

$$A_2 = \begin{pmatrix} \cos q_2 & -\sin q_2 & 0 & 0 \\ \sin q_2 & \cos q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & h_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$


---

$$A_{l3} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -l_{l1} \\ 0 & 0 & 1 & h_{l3} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$


---

$$A_{r3} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_{r1} \\ 0 & 0 & 1 & h_{r3} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$


---

$$A_{l4} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(q_{l3} - \pi/2) & -\sin(q_{l3} - \pi/2) & -h_{l4} \sin(q_{l3} - \pi/2) \\ 0 & \sin(q_{l3} - \pi/2) & \cos(q_{l3} - \pi/2) & h_{l4} \cos(q_{l3} - \pi/2) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$


---

$$A_{r4} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(q_{r3} - \pi/2) & -\sin(q_{r3} - \pi/2) & -h_{r4} \sin(q_{r3} - \pi/2) \\ 0 & \sin(q_{r3} - \pi/2) & \cos(q_{r3} - \pi/2) & h_{r4} \cos(q_{r3} - \pi/2) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$


---

$$A_{l5} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(q_{l4} - \pi) & -\sin(q_{l4} - \pi) & -h_{l5} \sin(q_{l4} - \pi) \\ 0 & \sin(q_{l4} - \pi) & \cos(q_{l4} - \pi) & h_{l5} \cos(q_{l4} - \pi) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$


---

$$A_{r5} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(q_{r4} - \pi) & -\sin(q_{r4} - \pi) & -h_{r5} \sin(q_{r4} - \pi) \\ 0 & \sin(q_{r4} - \pi) & \cos(q_{r4} - \pi) & h_{r5} \cos(q_{r4} - \pi) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$


---

$$A_{l6} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin q_{l5} & -\cos q_{l5} & l_{l5} \sin q_{l5} - h_6 \cos q_{l5} \\ 0 & \cos q_{l5} & -\sin q_{l5} & -l_{l5} \cos q_{l5} - h_6 \sin q_{l5} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$A_{r6} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin q_{r5} & \cos q_{r5} & l_{r5} \sin q_{r5} + h_6 \cos q_{r5} \\ 0 & -\cos q_{r5} & \sin q_{r5} & h_6 \sin q_{r5} - l_{r5} \cos q_{r5} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$T_1 = A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & q_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & h_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$T_2 = A_1 A_2 = \begin{pmatrix} \cos q_2 & -\sin q_2 & 0 & q_1 \\ \sin q_2 & \cos q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & h_1 + h_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$T_{l3} = A_{l3} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -l_{l1} \\ 0 & 0 & 1 & h_{l3} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$T_{r3} = A_{r3} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_{r1} \\ 0 & 0 & 1 & h_{r3} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$T_{l4} = A_{l3} A_{l4} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin q_{l3} & \cos q_{l3} & h_{l4} \cos q_{l3} - l_{l1} \\ 0 & -\cos q_{l3} & \sin q_{l3} & h_{l4} \sin q_{l3} + h_{l3} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$T_{r4} = A_{r3} A_{r4} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin q_{r3} & \cos q_{r3} & h_{r4} \cos q_{r3} + l_{r1} \\ 0 & -\cos q_{r3} & \sin q_{r3} & h_{r4} \sin q_{r3} + h_{r3} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (16)$$

$$T_{l5} = A_{l3} A_{l4} A_{l5} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin(q_{l3} + q_{l4}) & -\cos(q_{l3} + q_{l4}) & h_{l4} \cos q_{l3} - l_{l1} - h_{l5} \cos(q_{l3} + q_{l4}) \\ 0 & \cos(q_{l3} + q_{l4}) & \sin(q_{l3} + q_{l4}) & h_{l3} + h_{l4} \sin q_{l3} - h_{l5} \sin(q_{l3} + q_{l4}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (17)$$

$$T_{r5} = A_{r3} A_{r4} A_{r5} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin(q_{r3} + q_{r4}) & -\cos(q_{r3} + q_{r4}) & l_{r1} + h_{r4} \cos q_{r3} - h_{r5} \cos(q_{r3} + q_{r4}) \\ 0 & \cos(q_{r3} + q_{r4}) & -\sin(q_{r3} + q_{r4}) & h_{r3} + h_{r4} \sin q_{r3} - h_{r5} \sin(q_{r3} + q_{r4}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (18)$$

$$T_{l6} = A_{l3}A_{l4}A_{l5}A_{l6} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\cos q_l & \sin q_l & h_{l4} \cos q_{l3} - l_{l1} - h_{l5} \cos(q_{l3} + q_{l4}) + l_{l5} \cos q_l + h_6 \sin q_l \\ 0 & -\sin q_l & -\cos q_l & h_{l3} + h_{l4} \sin q_{l3} - h_{l5} \sin(q_{l3} + q_{l4}) - h_6 \cos q_l + l_5 \sin q_l \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (19)$$

$$T_{r6} = A_{r3}A_{r4}A_{r5}A_{r6} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_r & -\sin q_r & l_{r1} + h_{r4} \cos q_{r3} - h_{r5} \cos(q_{r3} + q_{r4}) + l_{r5} \cos q_r - h_6 \sin q_r \\ 0 & \sin q_r & \cos q_r & h_{r3} + h_{r4} \cos q_{r3} + l_{r5} \sin q_r - h_{r5} \sin(q_{r3} + q_{r4}) + h_6 \cos q_r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (20)$$

$$T(X) = \begin{pmatrix} \cos \gamma \sin \alpha - \sin \gamma \cos \alpha \sin \beta & -\sin \gamma \sin \alpha - \cos \gamma \cos \alpha \sin \beta & \cos \beta \cos \alpha & x_0 \\ -\cos \gamma \cos \alpha - \sin \gamma \sin \alpha \sin \beta & \sin \gamma \sin \alpha - \cos \gamma \sin \alpha \sin \beta & \cos \beta \sin \alpha & y_0 \\ -\sin \gamma \cos \beta & -\cos \gamma \cos \beta & -\sin \beta & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (21)$$

$$X = \begin{cases} x_0 = T(1,4); \\ y_0 = T(2,4); \\ z_0 = T(3,4); \\ \alpha = \arccos\left(\frac{T(1,3)}{\cos \beta}\right); \\ \beta = \arcsin(-T(3,3)); \\ \gamma = \arccos\left(-\frac{T(3,2)}{\cos \beta}\right). \end{cases} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} x_0 &= h_{l4} * \cos q_{l3} * \sin q_2 - l_{l1} * \sin q_2 - h_{l5} * \cos(q_{l3} + q_{l4}) * \sin q_2 - q_1 * \cos q_2 + \\ &+ l_{l5} * \cos(q_{l3} + q_{l4} + q_{l5}) * \sin q_2 + h_6 * \sin(q_{l3} + q_{l4} + q_{l5}) * \sin q_2; \\ y_0 &= q_1 * \sin q_2 - l_{l1} * \cos q_2 - h_{l5} * \cos(q_{l3} + q_{l4}) * \cos q_2 + h_{l4} * \cos q_2 * \cos q_{l3} + \\ &+ l_{l5} * \cos(q_{l3} + q_{l4} + q_{l5}) * \cos q_2 + h_6 * \sin(q_{l3} + q_{l4} + q_{l5}) * \cos q_2; \\ z_0 &= h_{l3} - h_2 - h_1 - h_{l5} * \sin(q_{l3} + q_{l4}) + h_{l4} * \sin q_{l3} - h_6 * \cos(q_{l3} + q_{l4} + q_{l5}) + \\ &+ l_{l5} * \sin(q_{l3} + q_{l4} + q_{l5}); \\ \beta &= \arcsin(\cos(q_{l3} + q_{l4} + q_{l5})); \\ \alpha &= \arccos((\sin(q_{l3} + q_{l4} + q_{l5}) * \sin q_2) / (\sin(q_{l3} + q_{l4} + q_{l5})^2)^{(1/2)}); \\ \gamma &= \arccos(\sin(q_{l3} + q_{l4} + q_{l5}) / (\sin(q_{l3} + q_{l4} + q_{l5})^2)^{(1/2)}). \end{aligned} \quad (23)$$

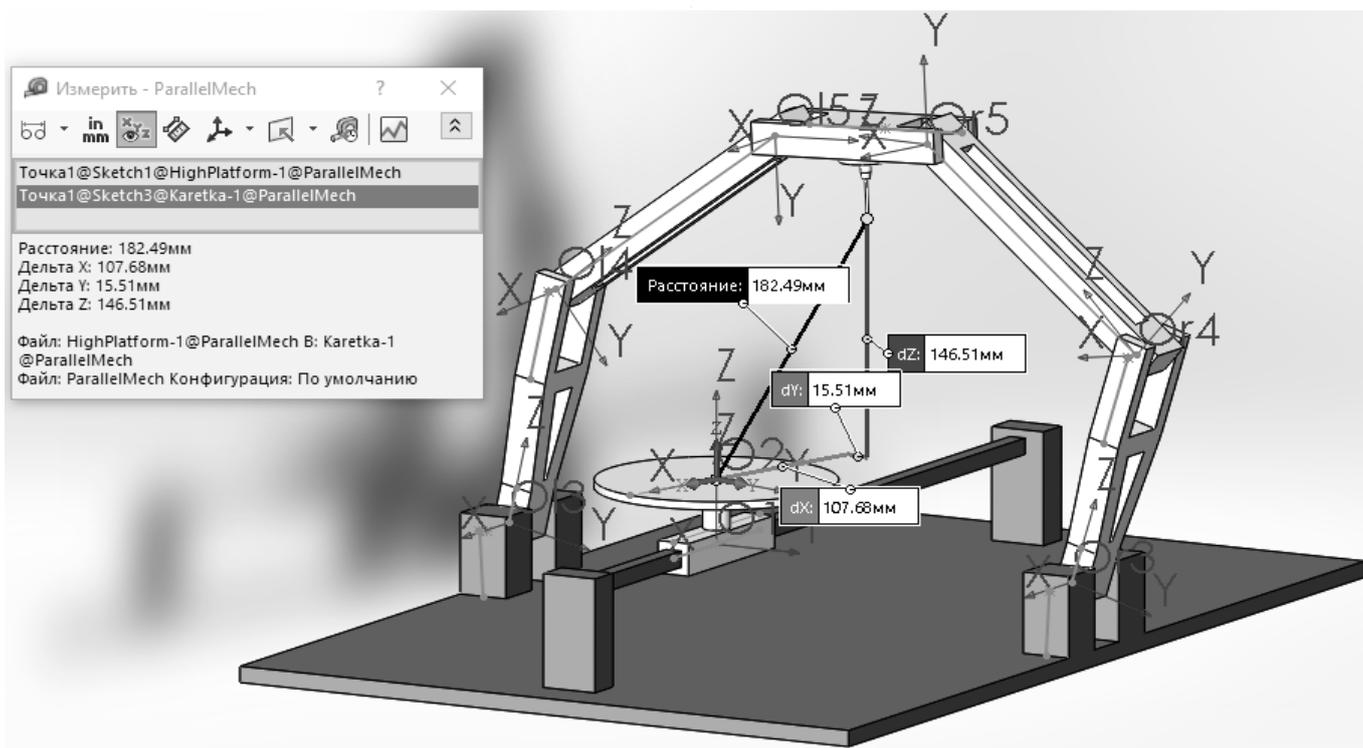


Рис. 4. Измерение значений декартовых координат выходного звена в среде SolidWorks

2. Введём обозначения для обобщённых координат и определим их допустимые значения:

$$\left. \begin{aligned} q_1 = l_2 = [-0, 2; 0, 2] \text{ м} \\ q_2 = \theta_2 = [0^\circ; 360^\circ] \\ q_{i3} = \theta_{i3} = [70^\circ; 150^\circ] \\ q_{r3} = \theta_{r3} = [30^\circ; 110^\circ] \\ q_{l4} = \theta_{l4} = [45^\circ; 180^\circ] \\ q_{r4} = \theta_{r4} = [180^\circ; 315^\circ] \end{aligned} \right\} \text{приводные обобщённые координаты;}$$

$$\left. \begin{aligned} q_{i5} = \theta_{i5} \\ q_{r5} = \theta_{r5} \end{aligned} \right\} \text{неприводные обобщённые координаты.}$$

3. Построим в среде SolidWorks полноразмерную трёхмерную модель исследуемого механизма (рисунок 3).

4. Для кинематического анализа механизма воспользуемся методом Денавита-Хартенберга, который представляет собой матричный метод последовательного построения систем координат, связанных с каждым звеном кинематической цепи [4]. Запишем матрицы элементарного преобразования для исследуемого механизма.

4.1) Матрица перехода из системы координат  $OXYZ$  к  $O_iX_iY_iZ_i$ : формула 1.

4.2) Матрица перехода из системы координат  $O_iX_iY_iZ_i$  к  $O_2X_2Y_2Z_2$ : формула 2.

4.3) Матрица перехода из системы координат  $OXYZ$  к  $O_{i3}X_{i3}Y_{i3}Z_{i3}$ : формула 3.

4.4) Матрица перехода из системы координат  $OXYZ$  к  $O_{r3}X_{r3}Y_{r3}Z_{r3}$ : формула 4.

4.5) Матрица перехода из системы координат  $O_{i3}X_{i3}Y_{i3}Z_{i3}$  к  $O_{l4}X_{l4}Y_{l4}Z_{l4}$ : формула 5.

4.6) Матрица перехода из системы координат  $O_{r3}X_{r3}Y_{r3}Z_{r3}$  к  $O_{r4}X_{r4}Y_{r4}Z_{r4}$ : формула 6.

4.7) Матрица перехода из системы координат  $O_{l4}X_{l4}Y_{l4}Z_{l4}$  к  $O_{i5}X_{i5}Y_{i5}Z_{i5}$ : формула 7.

4.8) Матрица перехода из системы координат  $O_{r4}X_{r4}Y_{r4}Z_{r4}$  к  $O_{r5}X_{r5}Y_{r5}Z_{r5}$ : формула 8.

4.9) Матрица перехода из системы координат  $O_{i5}X_{i5}Y_{i5}Z_{i5}$  к  $O_6X_6Y_6Z_6$ : формула 9.

4.10) Матрица перехода из системы координат  $O_{r5}X_{r5}Y_{r5}Z_{r5}$  к  $O_6X_6Y_6Z_6$ : формула 10.

5. Матрицы перехода от основания к  $i$ -ому звену (код для расчёта в среде Matlab).

5.1) К звену  $i$ : формула 11.

$$\begin{aligned}
 q_1 &= (y_0 * \cos\alpha * (1 - \cos(-\arccos(\sin\beta) + 2 * \pi))^2)^{(1/2)} - \\
 &- x_0 * \sin(-\arccos(\sin\beta) + 2 * \pi) * (\sin\alpha^2)^{(1/2)} / \sin(-\arccos(\sin\beta) + 2 * \pi); \\
 q_2 &= \arcsin((\cos\alpha * (\sin(-\arccos(\sin\beta) + 2 * \pi))^2)^{(1/2)} / \sin(-\arccos(\sin\beta) + 2 * \pi)); \\
 q_{l_3} &= -\arcsin((h_1 + h_2 - h_{l_3} + z_0 + l_{l_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} - h_{l_5} * \sin(\arcsin(((l_{l_1} + \\
 &+ h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + y_0 / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)} + x_0 * \cos\alpha - l_{l_5} * \sin\beta - \\
 &-(y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{l_3} + z_0 + l_{l_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + \\
 &+ h_6 * (\sin\beta)^2 - h_{l_4}^2 + h_{l_5}^2) / (2 * h_{l_5} * ((l_{l_1} + h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + y_0 / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)} + \\
 &+ x_0 * \cos\alpha - l_{l_5} * \sin\beta - (y_0 * (\cos\alpha)^2) / (\sin\alpha^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{l_3} + z_0 + \\
 &+ l_{l_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + h_6 * (\sin\beta)^2)^{(1/2)})) - \arccos((h_1 + h_2 - h_{l_3} + z_0 + \\
 &+ l_{l_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + h_6 * \sin\beta) / ((l_{l_1} + h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + y_0 / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)} + \\
 &+ x_0 * \cos\alpha - l_{l_5} * \sin\beta - (y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{l_3} + z_0 + \\
 &+ l_{l_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + h_6 * \sin\beta)^2)^{(1/2)})) + h_6 * \sin\beta) / h_{l_4}) + \pi); \\
 q_{r_3} &= \arcsin((h_1 + h_2 - h_{r_3} + z_0 - l_{r_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} - h_{r_5} * \sin(\arcsin(((l_{r_1} - \\
 &- h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} - y_0 / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)} + x_0 * \cos\alpha - l_{r_5} * \sin\beta + \\
 &+(y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{r_3} + z_0 - l_{r_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + \\
 &+ h_6 * \sin\beta)^2 - h_{r_4}^2 + h_{r_5}^2) / (2 * h_{r_5} * ((l_{r_1} - h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} - y_0 / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)} + \\
 &+ x_0 * \cos\alpha - l_{r_5} * \sin\beta + (y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{r_3} + z_0 - \\
 &- l_{r_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + h_6 * \sin\beta)^2)^{(1/2)})) - \arccos((h_1 + h_2 - h_{r_3} + z_0 - \\
 &- l_{r_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + h_6 * \sin\beta) / ((l_{r_1} - h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} - y_0 / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)} + \\
 &+ x_0 * \cos\alpha - l_{r_5} * \sin\beta + (y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{r_3} + z_0 - \\
 &- l_{r_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + h_6 * \sin\beta)^2)^{(1/2)})) + h_6 * \sin\beta) / h_{r_4}); \\
 q_{l_4} &= \arcsin((h_1 + h_2 - h_{l_3} + z_0 + l_{l_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} - h_{l_5} * \sin(\arcsin(((l_{l_1} + \\
 &+ h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + y_0 / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)} + x_0 * \cos\alpha - l_{l_5} * \sin\beta - \\
 &-(y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{l_3} + z_0 + l_{l_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + \\
 &+ h_6 * \sin\beta)^2 - h_{l_4}^2 + h_{l_5}^2) / (2 * h_{l_5} * ((l_{l_1} + h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + y_0 / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)} + \\
 &+ x_0 * \cos\alpha - l_{l_5} * \sin\beta - (y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{l_3} + z_0 + \\
 &+ l_{l_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + h_6 * \sin\beta)^2)^{(1/2)})) - \arccos((h_1 + h_2 - h_{l_3} + z_0 + l_{l_5} * (1 - \\
 &- (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + h_6 * \sin\beta) / ((l_{l_1} + h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + y_0 / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)} + \\
 &+ x_0 * \cos\alpha - l_{l_5} * \sin\beta - (y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{l_3} + z_0 + \\
 &+ l_{l_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + h_6 * \sin\beta)^2)^{(1/2)})) + h_6 * \sin\beta) / h_{l_4}) + \arcsin(((l_{l_1} + h_6 * (1 - \\
 &- (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + y_0 / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)} + x_0 * \cos\alpha - l_{l_5} * \sin\beta - \\
 &-(y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{l_3} + z_0 + l_{l_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + \\
 &+ h_6 * \sin\beta)^2 - h_{l_4}^2 + h_{l_5}^2) / (2 * h_{l_5} * ((l_{l_1} + h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + y_0 / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)} + \\
 &+ x_0 * \cos\alpha - l_{l_5} * \sin\beta - (y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{l_3} + z_0 + \\
 &+ l_{l_5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + h_6 * \sin\beta)^2)^{(1/2)})) - \arccos((h_1 + h_2 - h_{l_3} + z_0 + l_{l_5} * (1 - \\
 &- (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + h_6 * \sin\beta) / ((l_{l_1} + h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + y_0 / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)} + \\
 &+ x_0 * \cos\alpha - l_{l_5} * \sin\beta - (y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{l_3} + z_0 + \\
 &+ l_{l_5} * (1 - \sin\beta)^2)^{(1/2)} + h_6 * \sin\beta)^2)^{(1/2)}));
 \end{aligned}$$

(24.1)

$$\begin{aligned}
 q_{r4} = & 2 * pi - arcsin((h_1 + h_2 - h_{r3} + z_0 - l_{r5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} - h_{r5} * \sin(arcsin(((l_{r1} - \\
 & - h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} - y_0 / ((\sin\alpha)^2)^{(1/2)} + x_0 * \cos\alpha - l_{r5} * \sin\beta + \\
 & + (y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha)^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{r3} + z_0 - l_{r5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + \\
 & + h_6 * \sin\beta)^2 - h_{r4}^2 + h_{r5}^2) / (2 * h_{r5} * ((l_{r1} - h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} - y_0 / ((\sin\alpha)^2)^{(1/2)} + \\
 & + x_0 * \cos\alpha - l_{r5} * \sin\beta + (y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha)^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{r3} + z_0 - l_{r5} * (1 - \\
 & - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + h_6 * \sin\beta)^2)^{(1/2)}) - arccos((h_1 + h_2 - h_{r3} + z_0 - l_{r5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + \\
 & + h_6 * \sin\beta) / ((l_{r1} - h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} - y_0 / ((\sin\alpha)^2)^{(1/2)} + x_0 * \cos\alpha - l_{r5} * \sin\beta + \\
 & + (y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha)^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{r3} + z_0 - l_{r5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + \\
 & + h_6 * \sin\beta)^2)^{(1/2)}) + h_6 * \sin\beta / h_{r4}) - arcsin(((l_{r1} - h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} - \\
 & - y_0 / ((\sin\alpha)^2)^{(1/2)} + x_0 * \cos\alpha - l_{r5} * \sin\beta + (y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha)^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - \\
 & - h_{r3} + z_0 - l_{r5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + h_6 * \sin\beta)^2 - h_{r4}^2 + h_{r5}^2) / (2 * h_{r5} * ((l_{r1} - h_6 * (1 - \\
 & - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} - y_0 / ((\sin\alpha)^2)^{(1/2)} + x_0 * \cos\alpha - l_{r5} * \sin\beta + \\
 & + (y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha)^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{r3} + z_0 - l_{r5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + \\
 & + h_6 * \sin\beta)^2)^{(1/2)}) + arccos((h_1 + h_2 - h_{r3} + z_0 - l_{r5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + \\
 & + h_6 * \sin\beta) / ((l_{r1} - h_6 * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} - y_0 / ((\sin\alpha)^2)^{(1/2)} + x_0 * \cos\alpha - l_{r5} * \sin\beta + \\
 & + (y_0 * (\cos\alpha)^2) / ((\sin\alpha)^2)^{(1/2)})^2 + (h_1 + h_2 - h_{r3} + z_0 - l_{r5} * (1 - (\sin\beta)^2)^{(1/2)} + \\
 & + h_6 * \sin\beta)^2)^{(1/2)}).
 \end{aligned}
 \tag{24.2}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon = & \frac{|15 - 14,9998| + |77,72 - 77,7247| + |139,37 - 139,352| + |145,61 - 145,6218|}{4} = \\
 = & 0,008675^\circ \approx 0,87\%.
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

- 5.2) К звену 2: формула 12.
- 5.3) К звену 3l: формула 13.
- 5.4) К звену 3r: формула 14.
- 5.5) К звену 4l: формула 15.
- 5.6) К звену 4r: формула 16.
- 5.7) К звену 5 (слева): формула 17.
- 5.8) К звену 5 (справа): формула 18.
- 5.9) К концу исполнительного инструмента (слева): формула 19,  
 где  $q_l = q_{l3} + q_{l4} + q_{l5}$ .
- 5.10) К концу исполнительного инструмента (справа): формула 20,  
 где  $q_r = q_{r3} + q_{r4} + q_{r5}$ .

6. Таким образом, матрица, описывающая решение прямой задачи кинематики, имеет вид (результаты расчёта, полученные в среде Matlab): формула 21

$$T = T_2^{-1} \times T_6.$$

7. В соответствии с общим видом матриц данного типа (формула 21) находим значения координат Эйлера (результаты расчёта, полученные в среде Matlab): формула 22.

8. В результате решения системы уравнений получили выражения, описывающие переход из пространства обобщённых координат в пространство координат Эйлера: формулы 23.

9. Подставим в полученные выражения значения обобщённых координат, взятые с трёхмерной модели:  $q_{l4} = 139,37^\circ$ ;  $q_2 = 15^\circ$ ;  $q_{l3} = 77,72^\circ$ ;  $q_{r4} = 139,37^\circ$ ;  $q_{l5} = 145,61^\circ$ . Получим значения

координат Эйлера:  $x = 0,1077\text{м}$ ;  $y = 0,0155\text{м}$ ;  
 $z = 0,1465\text{м}$ ;  $\alpha = 75^\circ$ ;  $\beta = 87,3^\circ$ ;  $\gamma = 0^\circ$ .

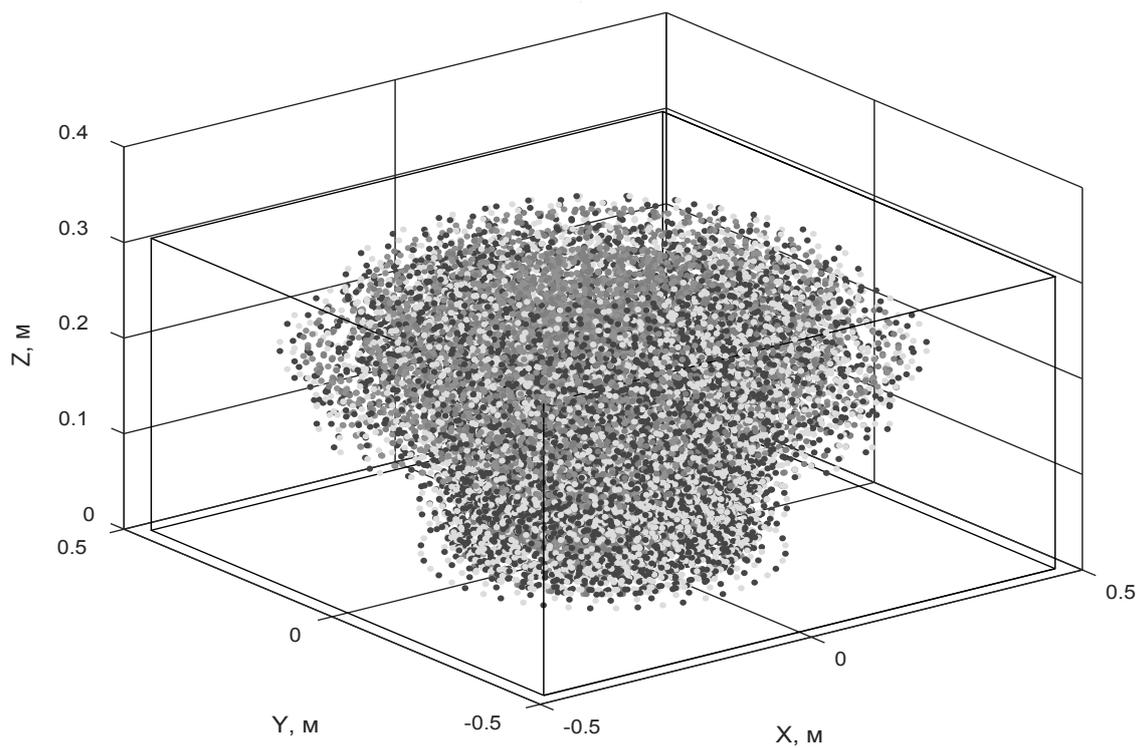


Рис. 5. Рабочая зона механизма

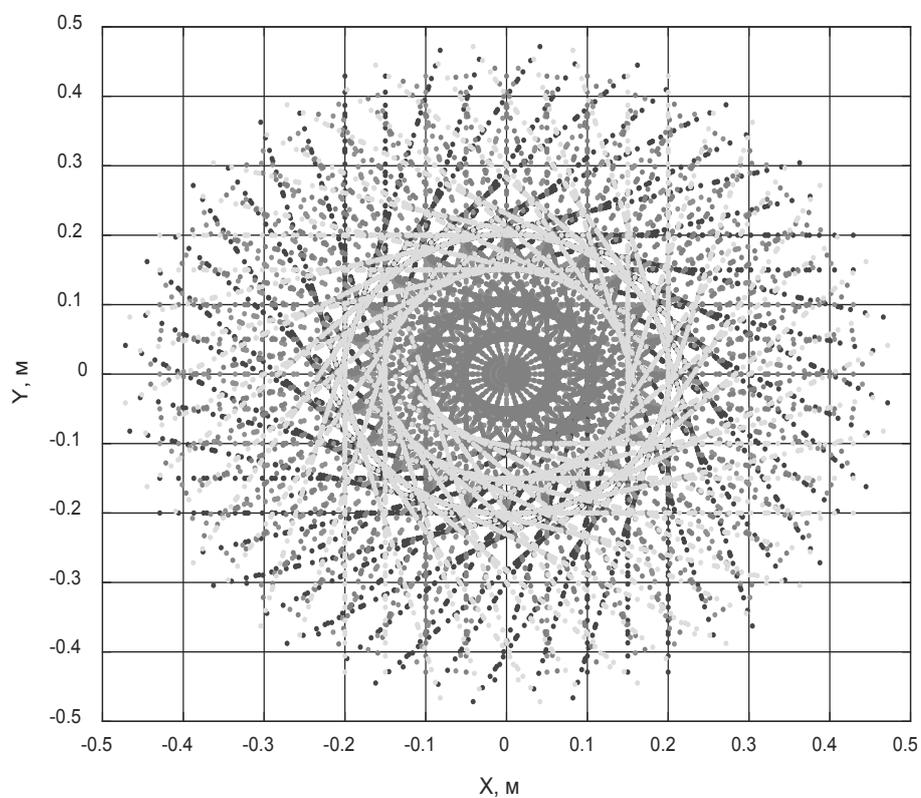


Рис. 6. Проекция рабочей зоны механизма на плоскость  $OXY$

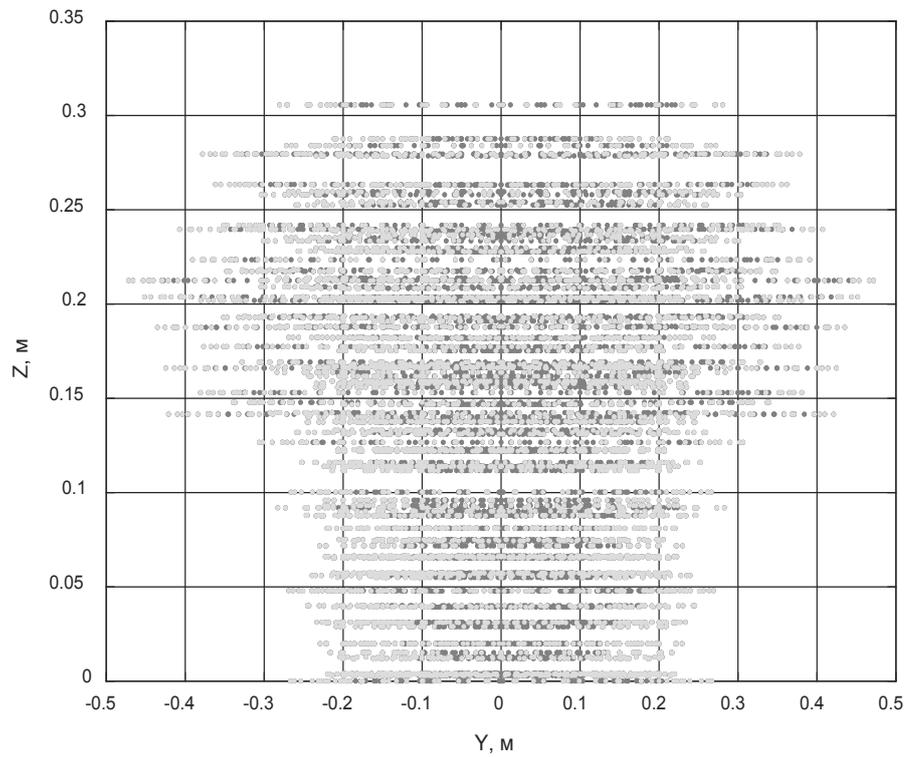


Рис. 7. Проекция рабочей зоны механизма на плоскость OXZ

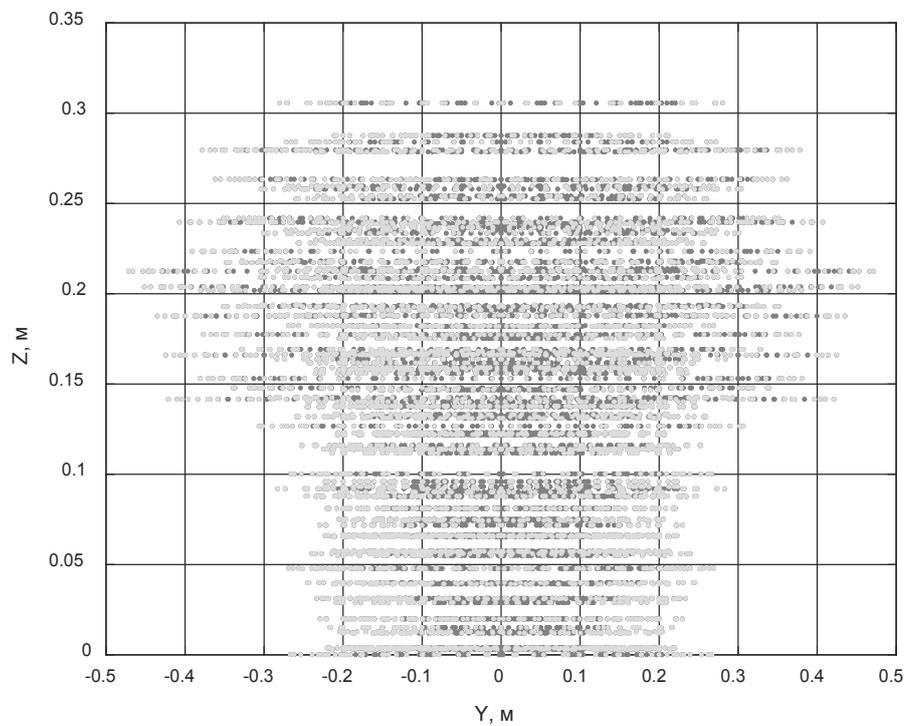


Рис. 8. Проекция рабочей зоны механизма на плоскость OYZ

10. Сравним полученные декартовы координаты со значениями, измеренными в среде SolidWorks (рисунок 4.): они равны  $x = 0,10768m$ ;  $y = 0,01551m$ ;  $z = 0,14651m$ , то есть значения с модели соответствуют вычисленным. Полученные результаты свидетельствуют о том, что прямая задача кинематики решена верно.

Решение обратной задачи кинематики

1. Решение обратной задачи кинематики сводится к решению системы:

$$\begin{cases} x_0 = T(1, 4); \\ y_0 = T(2, 4); \\ \alpha = \arccos\left(\frac{T(1, 3)}{\cos \beta}\right); \\ z_0 = T(3, 4); \\ \beta = \arcsin(-T(3, 3)). \end{cases}$$

2. В результате решения системы уравнений получили выражения, описывающие переход из про-

странства координат Эйлера в пространство приводных обобщённых координат: формулы 24.

3. Подставим в полученные выражения значения координат Эйлера, найденные в предыдущем пункте, и получим значения обобщённых координат:  $q_1 = -0,1m$ ;  $q_2 = 14,9998^\circ$ ;  $q_{I3} = 77,7247^\circ$ ;  $q_{I4} = 139,352^\circ$ ;  $q_{I5} = 145,6218^\circ$ ;  $q_{r3} = 106,6422^\circ$ ;  $q_{r4} = 213,2002^\circ$ ;  $q_{r5} = 222,856^\circ$ . Посчитаем погрешность вычислений (проведём верификацию): формула 25.

Она составила 0,87%, т.е. координаты, полученные в прямой и обратной задачах, можно считать совпадающими с реальными.

Построение рабочей области

На основании полученного решения прямой задачи о положении подставим все возможные наборы обобщенных координат и получим все возможные положения выходного звена механизма (код для расчёта в среде Matlab) Результат вычисления рабочей зоны механизма представлен на рисунках 5–8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Царева Г.Р. Выпускная квалификационная работа: учебно-методическое пособие / Г.Р. Царева, В.Б. Елагина; Поволжский государственный технологический университет. — Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. — 100 с.: ил. — Библиогр.: с. 82. — ISBN978–5–8158–1984–9; То же [Электронный ресурс]. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=494054> (14.05.2019).
2. Леонова О.В. Выпускная квалификационная работа: методические рекомендации. — Федеральное агентство морского и речного транспорта, Московская государственная академия водного транспорта. — Москва: Альтаир: МГАВТ, 2016. — 32 с.: табл.; То же [Электронный ресурс]. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483853> (14.05.2019).
3. Вылегжанина А.О. Разработка проекта: учебное пособие / А.О. Вылегжанина. — Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2015. — 291 с.: ил., схем., табл. — Библиогр. в кн. — ISBN978–5–4475–3936–8; То же [Электронный ресурс]. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275277> (14.05.2019).
4. Лапиков А.Л., Масюк В.М. Специальные системы координат промышленных роботов. Метод Денавита-Хартенберга: Методические указания для выполнения домашнего задания по дисциплине «Кинематическое моделирование мехатронных и робототехнических систем». — Калуга: Издательство КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. — 30 с.

© Орехов Сергей Юрьевич ( [serg31057@mail.ru](mailto:serg31057@mail.ru) ), Скадин Артём Владимирович ( [a.skadin@mail.ru](mailto:a.skadin@mail.ru) ),  
Сахаров Владимир Валентинович ( [vlad.saharov2011@yandex.ru](mailto:vlad.saharov2011@yandex.ru) ), Глебов Сергей Александрович ( [saglebov@bmstu.ru](mailto:saglebov@bmstu.ru) ),  
Просвернин Андрей Андреевич ( [aprosvernin@mail.ru](mailto:aprosvernin@mail.ru) ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ТЕХКООПЕРАЦИЯ 2.0»

## DEVELOPMENT OF THE INFORMATION SYSTEM "TECHNICAL COOPERATION 2.0"

**M. Polenok**  
**S. Bondarenko**  
**O. Zelenskiy**  
**O. Yurkova**

*Summary.* The information system "Technical Cooperation 2.0" has been developed, which has a convenient and concise design. It is able to store and process information about the enterprises of registered users, as well as their offers or requests. The analysis of the theoretical aspects of the implementation of b2b systems was carried out, the key stages of the development of such systems were identified and analyzed in detail. As a result of the analysis of existing software solutions, the disadvantages of existing systems were identified and the elements that can distinguish the system being created from all others were emphasized.

*Keywords:* information system, b2b system, Java < Spring Boot.

**Поленок Максим Викторович**

Брянский государственный инженерно-технологический университет  
 polenok.maksim.2001@mail.ru

**Бондаренко Сергей Владимирович**

Брянский государственный инженерно-технологический университет  
 Bondrenkoseregabondarenko576@gmail.com

**Зеленский Олег Сергеевич**

Брянский государственный инженерно-технологический университет  
 zelenskiyoleg2000@gmail.com

**Юркова Ольга Николаевна**

К.э.н., Брянский государственный инженерно-технологический университет  
 yurkova\_olga@mail.ru

*Аннотация.* Разработана информационная система «Техкооперация 2.0», которая имеет удобный и лаконичный дизайн. Она способна хранить и обрабатывать информацию о предприятиях зарегистрированных пользователей, а также их предложениях или запросах. Произведен анализ теоретических аспектов реализации b2b систем, были выявлены и подробно разобраны ключевые этапы разработки подобных систем. В результате анализа существующих программных решений были выявлены минусы существующих систем и подчеркнуты элементы, способные выделить создаваемую систему из всех остальных.

*Ключевые слова:* информационная система, b2b система, Java < Spring Boot.

## Введение

**А**ктуальность разрабатываемой системы заключается в том, что в настоящее время в стране вопрос импортозамещения является одним из ключевых. Сотрудничество с иностранными предприятиями становится все более трудоёмким и несет все больше материальных затрат.

Для решения данной проблемы было решено разработать информационную систему «Техкооперация 2.0». Данная интернет система представляет из себя частный случай b2b систем. Она позволяет предпринимателю найти предприятие способное произвести интересующую его продукцию и связаться с ним, а также предложить свои производственные показатели.

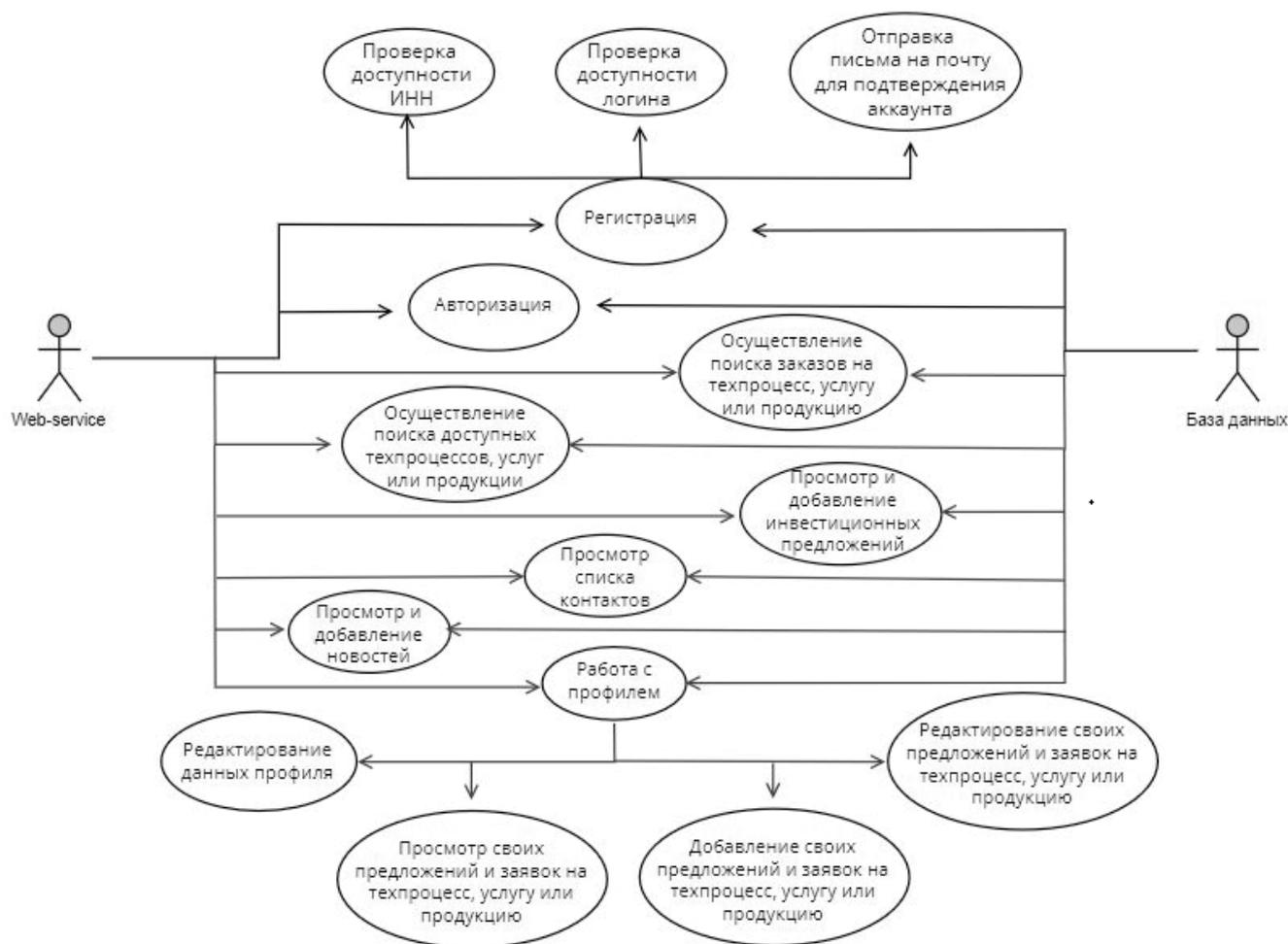


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования информационной системы «Техкооперация 2.0»

Объектом исследования является информационная система «Техкооперация 2.0».

Предмет исследования: бэкенд-сервис информационной системы «Техкооперация 2.0».

Цель работы состоит в разработке бэкенд-сервиса информационной системы «Техкооперация 2.0».

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- ◆ проанализировать теоретические аспекты реализации b2b систем;
- ◆ произвести анализ существующих программных решений;
- ◆ определить спецификации и произвести проектирование бэкенд сервиса информационной системы «Техкооперация 2.0»;
- ◆ реализовать бэкенд-сервис информационной системы «Техкооперация 2.0»;

- ◆ произвести тестирование системы.

### Теоретические аспекты и основные этапы создания b2b систем

B2B система — это система, способствующая организации торговли в среде оптовиков, то есть крупных компаний. При этом одна и так же компания может выступать в системе как закупщик и как поставщик товаров или услуг.

Одной из ключевых целей создания b2b систем является: помощь предприятиям в налаживании бизнес-схем и связей, что в дальнейшем способствует увеличению прибыли.

Чтобы создать хорошую b2b систему, необходимо учесть множество деталей. Весь процесс создания b2b системы можно разделить на 3 крупных шага: под-



Рис. 2. Диаграмма последовательности процесса регистрации пользователя в системе

готовка плана разработки, разработка функционала системы и третий этап завершение и запуск системы. Рассмотрим подробно каждый из этапов создания системы.

Первый этап — это подготовка плана разработки. На данном этапе происходит определение целей систем, описание ожидаемого функционала с учетом поведения пользователей.

На основе целей и ожидаемого функционала составляется техническое задание. В данном документе четко определяются цели, задачи и предпосылки к развитию проекта в будущем.

Не малую роль в данном этапе играет разработка дизайна системы. Может показаться, что дизайн не имеет отношения к автоматизации бизнес-процессов, но именно благодаря красоте и удобству пользования удается привлечь и удержать большую часть клиентов системы.

Второй этап — это разработка функционала системы. На данном этапе происходит создание основной части проекта. Проектируется и реализуется серверная часть «back-end», в которой реализуются функции, отвечающие за хранение и манипулировании информацией.

На основе разработанного дизайна создается клиентская часть «front-end», которая отображает данные, хранящиеся в серверной части, а также предоставляет удобный функционал пользовательского интерфейса для манипулирования данными. Также на данном этапе производится тестирование готовой системы и исправление возникающих ошибок.

Третий этап — это завершение и запуск системы. В данном этапе производится наполнение системы первичным контентом, выгрузка системы на конечные сервера, тестирование отказоустойчивости и исправление проблем.

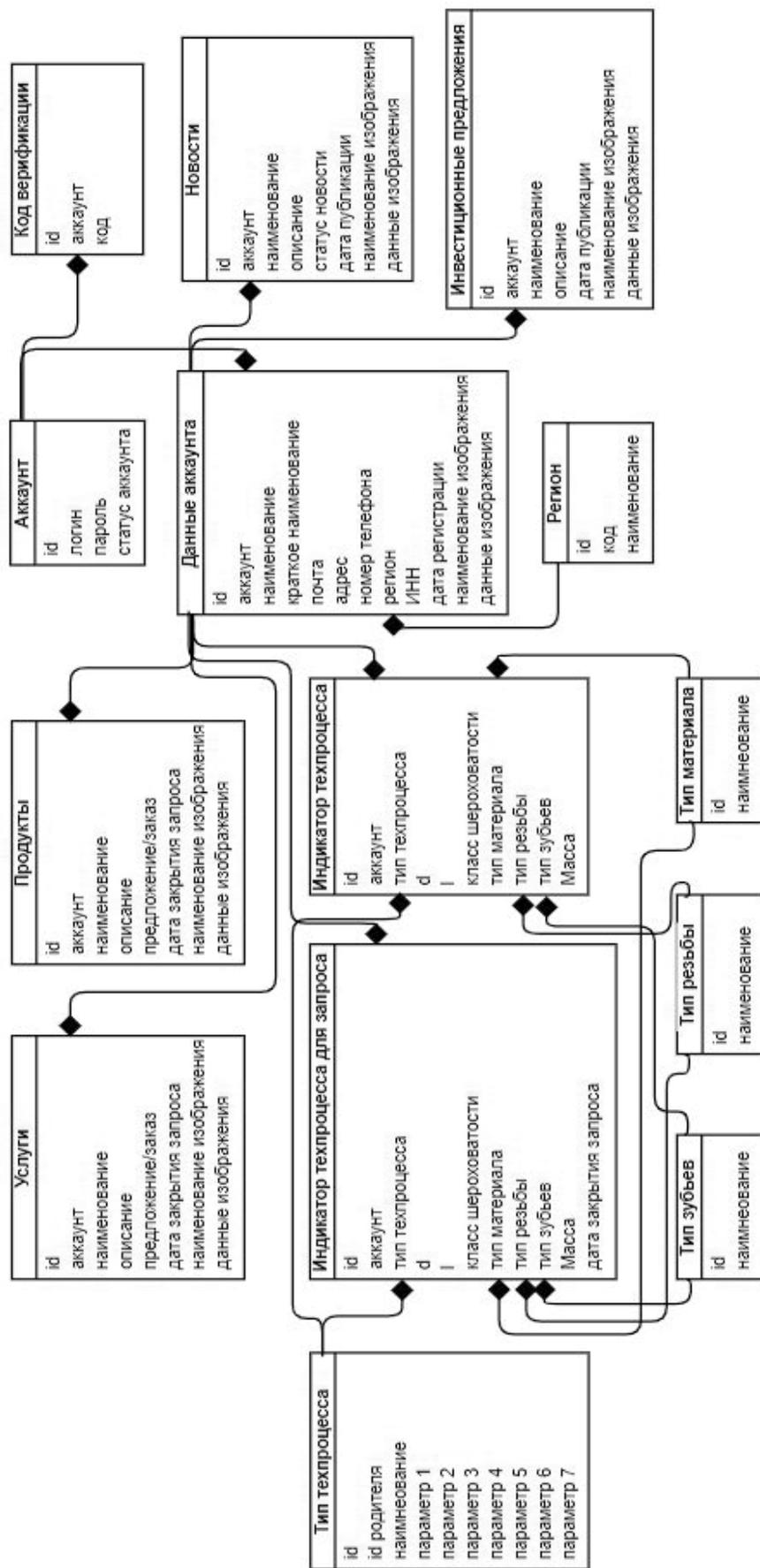


Рис. 3. Диаграмма классов информационной системы «Техкооперация 2.0»

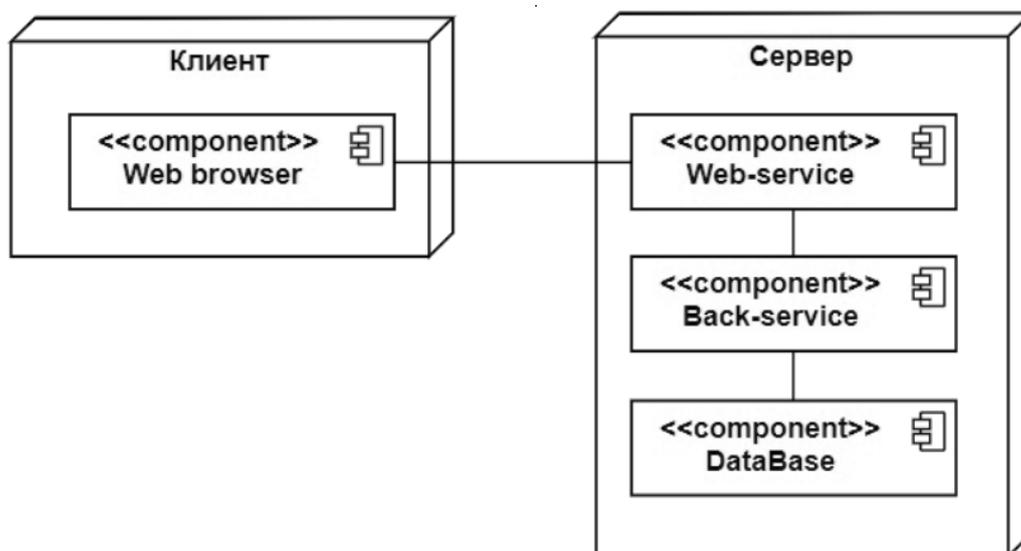


Рис. 4. Диаграмма развертывания

После всевозможных тестов осуществляется запуск системы в общее пользование.

### Определение спецификаций и проектирование информационной системы «Техкооперация 2.0»

При разработке любой системы необходимо чётко понимать: для чего разрабатывается система, и какие процессы будут протекать в системе. Для этого в ходе выполнения работы была разработана диаграмма вариантов использования (рис. 1).

Диаграмма вариантов использования отражает функциональные возможности системы, используя действующие лица, актеры. На рисунке 1 действующими лицами выступают «Web-service» и «База данных».

«Web-service» взаимодействует с базой данных при помощи следующих вариантов использования:

- ◆ регистрация аккаунта пользователя;
- ◆ авторизация пользователя;
- ◆ просмотр и добавление новостей;
- ◆ просмотр и добавление инвестиционных предложений;
- ◆ просмотр списка доступных техпроцессов, услуг и продуктов;
- ◆ просмотр списка заказов на техпроцесс, услугу и продукцию;
- ◆ возможность через профиль осуществлять добавление и редактирование предложения или заказа на техпроцесс, услугу продукцию;
- ◆ редактирование профиля.

Для того чтобы детально разобраться в том, как взаимодействуют между собой разные элементы системы, необходимо разработать диаграмму последовательностей (рис. 2).

Основными элементами диаграммы являются актеры, которые изображаются в виде прямоугольников, и вертикальные линии, называемые линиями жизни процесса.

При разработке любой информационной системы очень важно определить основные компоненты системы. Одним из самых удобных способов отражения функциональных компонентов системы является диаграмма классов.

Диаграмма классов — это структурная диаграмма языка моделирования UML, на которой отражаются основные объекты системы, статические связи между ними, а также атрибуты классов (рис. 3).

На рисунке 4 можно заметить, что все основные элементы системы располагаются на сервере. Для обращения к системе клиенту достаточно иметь любой браузер. Также можно заметить, что клиент обращается только к «Web-service», который взаимодействует со всеми остальными элементами информационной системы.

Реализация функциональной модели информационной модели «Техкооперация 2.0»

Рассмотрим основные компоненты Back-сервиса информационной системы «Техкооперация 2.0». Начнем разбор с ключевых файлов:

```
1 server.port=5534
2
3 spring.datasource.url=jdbc:mysql://localhost:3306/baz?serverTimezone=UTC
4 spring.datasource.username=JavaApp
5 spring.datasource.password=sql2
6
7 spring.jpa.hibernate.ddl-auto=none
8 spring.jpa.properties.hibernate.dialect=org.hibernate.dialect.MySQLDialect
9 spring.jpa.properties.hibernate.current_session_context_class=org.springframework.orm.hibernate5.SpringSessionContext
10
11 spring.mail.host=smtп.yandex.ru
12 spring.mail.username=tehprocess@bgiitv.ru
13 spring.mail.password=*****
14 spring.mail.port=465
15 spring.mail.protocol=smtпs
16 mail.debug=false
```

Рис. 5. Файл настроек SpringBoot

Method GET URL **http://localhost:5534/api/all\_region** **SEND**

HEADERS BODY AUTHORIZATION VARIABLES

Name Value

**Response 200** 6.52 KB 381 ms

Vary: Origin, Access-Control-Request-Method, Access-Control-Request-Headers  
 Content-Type: application/json  
 Transfer-Encoding: chunked  
 Date: Wed, 08 Jun 2022 10:09:06 GMT  
 Keep-Alive: timeout=60  
 Connection: keep-alive

```

1  [
2  {
3    "id": 1,
4    "codeRegion": 1,
5    "name": "республика Адыгея"
6  },
7  {
8    "id": 2,
9    "codeRegion": 2,
10   "name": "республика Башкортостан"
11  },
12  {
13   "id": 3,
14   "codeRegion": 3,
15   "name": "республика Бурятия"
16  },
17  {
18   "id": 4,
19   "codeRegion": 4,
20   "name": "республика Алтай"

```

Рис. 6. Пример работы метода getAllRegion

- ◆ DataBaseServiceApplication.java;
- ◆ Pom.xml;
- ◆ Application.properties.

Класс «DataBaseServiceApplication.java» является точкой старта системы. Данный класс содержит код, отраженный в листинге 1.

Листинг 1 — Файл DataBaseServiceApplication.java

```
@SpringBootApplication
public class DataBaseServiceApplication {
    public static void main(String[] args) {
        SpringApplication.run(DataBaseServiceApplication.
class, args);
    }
}
```

Рассматриваемый класс содержит метод «main» и аннотацию «@SpringBootApplication», которая сообщает фреймворку «SpringBoot», с какого места следует начинать запуск программы.

Файл «pom.xml» содержит список подключаемых к проекту зависимостей и их версии. Ознакомиться с подробным списком зависимостей можно в листинге 2.

Листинг 2 — Подключаемые зависимости приложения

```
<dependencies>
<dependency>
<groupId>org.springframework.boot</groupId>
<artifactId>spring-boot-starter-web</artifactId>
</dependency>
<dependency>
<groupId>org.apache.tomcat.embed</groupId>
<artifactId>tomcat-embed-jasper</artifactId>
<version>9.0.44</version>
</dependency>
<dependency>
<groupId>javax.servlet</groupId>
<artifactId>jstl</artifactId>
<version>1.2</version>
</dependency>
<dependency>
<groupId>org.springframework.boot</groupId>
<artifactId>spring-boot-starter-data-jpa</artifactId>
<version>2.6.2</version>
</dependency>
<dependency>
<groupId>mysql</groupId>
<artifactId>mysql-connector-java</artifactId>
<version>8.0.21</version>
</dependency>
</dependencies>
```

```
<groupId>org.hibernate</groupId>
<artifactId>hibernate-core</artifactId>
<version>5.6.3.Final</version>
</dependency>
<dependency>
<groupId>org.springframework.boot</groupId>
<artifactId>spring-boot-starter-mail</artifactId>
</dependency>
<dependency>
<groupId>org.springframework.boot</groupId>
<artifactId>spring-boot-starter-test</artifactId>
<scope>test</scope>
</dependency>
</dependencies>
```

Рассмотрим некоторые из зависимостей.

Зависимость «spring-boot-starter-web» указывает, с какой из подсистем фреймворка SpringBoot мы будем работать.

Зависимость «mysql-connector-java» указывает СУБД, в которой будет располагаться база данных и подключает необходимый для работы с ней плагин.

Зависимости «spring-boot-starter-data-jpa» и «hibernate-core» подключают необходимые библиотеки для работы с базой данных.

Зависимость «tomcat-embed-jasper» подключает контейнер сервлетов, необходимый для работы веб-приложений.

Зависимость «spring-boot-starter-mail» подключает библиотеки необходимые для отправки писем по электронной почте из java-приложения.

Файл «application.properties» содержит настройки для SpringBoot (рис. 5).

Рассмотрим пакет «config». Данный «пакет» содержит всего один класс конфигурации, «MailConfig». Ознакомьтесь с кодом класс можно в листинге 3.

Листинг 3 — Файл «MailConfig»

```
@Configuration
public class MailConfig {
    @Value("${spring.mail.host}")
    private String host;
    @Value("${spring.mail.username}")
    private String username;
    @Value("${spring.mail.password}")
    private String password;
    @Value("${spring.mail.port}")
    private Integer port;
}
```

Method POST URL `http://localhost:5534/api/authorization/check_login` SEND

HEADERS AUTHORIZATION VARIABLES

```

1 {
2   "login": "adminT"
3 }

```

**Response 200** 308 B 17 ms

Vary: Origin, Access-Control-Request-Method, Access-Control-Request-Headers  
Access-Control-Allow-Origin: \*  
Content-Type: application/json  
Transfer-Encoding: chunked  
Date: Wed, 08 Jun 2022 11:04:46 GMT  
Keep-Alive: timeout=60  
Connection: keep-alive

```

1 {
2   "status": true
3 }

```

Рис. 7. Пример работы метода `getCheckLogin`

Method POST URL **http://localhost:5534/api/authorization/register** SEND

HEADERS AUTHORIZATION VARIABLES

BODY

```
1 {
2   "login": "test32",
3   "password": "test32",
4   "name": "test32",
5   "short_name": "test32",
6   "email": "polenok.maksim.2001@mail.ru",
7   "address": "test32",
8   "numberPhone": "88888888",
9   "region": "32",
10  "inn": "643523"
11 }
```

**Response 200** 242 B 1.83 s

Vary: Origin, Access-Control-Request-Method, Access-Control-Request-Headers  
Access-Control-Allow-Origin: \*  
Content-Length: 0  
Date: Wed, 08 Jun 2022 11:20:12 GMT  
Keep-Alive: timeout=60  
Connection: keep-alive

Рис. 8. Пример работы метода getRegistration

```

private int port;
@Value("${spring.mail.protocol}")
private String protocol;
@Value("${mail.debug}")
private String debug;
@Bean
public JavaMailSender getMailSender() {
    JavaMailSenderImpl mailSender = new
JavaMailSenderImpl();
    mailSender.setHost(host);
    mailSender.setPort(port);
    mailSender.setUsername(username);
    mailSender.setPassword(password);
    Properties properties = mailSender.
getJavaMailProperties();
    properties.setProperty("mail.transport.protocol",
protocol);
    properties.setProperty("mail.debug", debug);
    return mailSender;
}
}

```

Данный класс необходим для создания и настройки переменной, отвечающей за отправку сообщений по электронной почте.

Следующим рассмотрим каталог `service`. В данном каталоге содержатся классы, содержимое которых неоднократно используется в методах других функциональных классов.

В данном каталоге содержится один класс, «MailSender». В листинге 4 можно подробнее ознакомиться с содержимым класса.

Листинг 4 — Файл «MailSender»

```

@Service
public class MailSender {
    @Autowired
    private JavaMailSender mailSender;
    @Value("${spring.mail.username}")
    private String username;
    public void send(String emailTo, String subject, String
message) {
        SimpleMailMessage mailMessage = new
SimpleMailMessage();
        mailMessage.setFrom(username);
        mailMessage.setTo(emailTo);
        mailMessage.setSubject(subject);
        mailMessage.setText(message);
        mailSender.send(mailMessage);
    }
}

```

Данный класс содержит функции формирования и отправки сообщения по электронной почте.

### Тестирование и апробация программного средства

Рассмотрим пример работы основных методов `Back-service`.

Метод `getAllRegion` возвращает список всех регионов в формате JSON. Для того чтобы обратиться к данному методу из интернета, необходимо отправить GETREST-запрос по адресу: [http://localhost:5534/api/all\\_region](http://localhost:5534/api/all_region) (рис. 6).

Методы `getAllMarerial`, `getAllCarvingType`, `getAllToothingType` работают по идентичному принципу.

Метод `getRegistration` принимает данные нового аккаунта в формате JSON и регистрирует его в системе с пометкой «не активирован». На рис. 8 можно ознакомиться с примером работы метода.

Методы `getCheckLogin` и `getCheckInn` идентичны, поэтому рассмотрим один из них. Метод `getCheckLogin` вызывается при попытке регистрации нового аккаунта. Он принимает логин в формате JSON и проверяет его наличие в базе данных. Если данный логин присутствует, то возвращается «true» иначе «false». Для того чтобы обратиться к данному методу из интернета, необходимо отправить POSTREST-запрос по адресу: [http://localhost:5534/api/authorization/check\\_login](http://localhost:5534/api/authorization/check_login) (рис. 7).

При работе метода, описанного выше, мы не сможем сразу зайти в зарегистрированный аккаунт. По окончании регистрации метод отправляет электронное письмо для авторизации аккаунта на указанную почту при регистрации. Для активации аккаунта необходимо перейти по ссылке в письме.

### Заключение

Итогом работы служит достижение цели, т.к. была разработана информационная система «Техкооперация 2.0», которая имеет удобный и лаконичный дизайн. Данная система способна хранить и обрабатывать информацию о предприятиях зарегистрированных пользователей, а также их предложениях или запросах.

После подробного анализа теоретических аспектов реализации b2b систем были выявлены и подробно разобраны ключевые этапы разработки подобных систем. Был сделан вывод о том, что в настоящее время про-

граммы, которые помогают развиваться бизнесу, имеют большое значение и очень востребованы на рынке.

В результате анализа существующих программных решений были выявлены минусы существующих систем и подчеркнуты элементы, способные выделить создаваемую системы из всех остальных. Большинство существующих систем созданы для крупных предпри-

ятий и профессионалов торговли. Новому пользователю не всегда просто разобраться во всех протекающих процессах.

Для реализации Back-service информационной системы «Техкооперация 2.0» было решено использовать язык программирования Java, причем ключевым инструментом разработки стал фреймворк SpringBoot.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев А.Н. Программирование на Java для начинающих. — Москва: Эксмо, 2020. — 704 с.
2. Дашнер Себастьян Изучаем JavaEE. Современное программирование для больших предприятий — СПб.: Питер, 2018. — 384 с.
3. Дюбуа Поль MySQL. Сборник рецептов — Символ-Плюс, 2004. — 1056 с.
4. Карнелл Дж., Санчес И.У. Микросервисы Spring в действии — ДМК Пресс, 2021. — 490 с.
5. Лафоре Р. Структуры данных и алгоритмы в Java. Классика ComputersScience. 2-у изд. — СПб.: Питер, 2013. — 704с.
6. Мартин Р. Чистый код: создание, анализ и рефакторинг. Библиотека программиста. — СПб.: Питер, 2013. — 464 с.
7. Раджпут Динеш Spring. Все патерны проектирования — СПб.: Питер, 2019. — 320 с.

© Поленок Максим Викторович ( polenok.maksim.2001@mail.ru ), Бондаренко Сергей Владимирович ( Bondrenkoseregabondarenko576@gmail.com ), Зеленский Олег Сергеевич ( zelenskiyoleg2000@gmail.com ), Юркова Ольга Николаевна ( yurkova\_olga@mail.ru ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Брянск

# ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВМЕСТИМОГО МУЛЬТИРАЗЯДНОГО МИКРОПРОЦЕССОРА AMD64 ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

EVALUATE THE USE OF THE INTERNAL  
CAPABILITIES OF A COMPATIBLE AMD64  
MULTI-BIT MICROPROCESSOR TO  
COUNTER IONIZING RADIATION

**D. Prikhodko**

*Summary.* As part of the article, the author considers the analysis of the use of a multi-bit microprocessor, which is operated in extreme environmental conditions, such as space conditions. At the same time, for analysis, the simplest technical characteristics, such as the number of transistors, crystal area and technological process, are selected as characteristics.

*Keywords:* multi-bit microprocessor, evaluation calculation of multi-bit microprocessor.

**Приходько Дмитрий Игоревич**

*Магистр, инженер вычислительных и электронно-вычислительных машин, Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, г. Москва  
mitry1205@mail.ru*

*Аннотация.* В рамках статьи автором рассматривается анализ использования мультиразрядного микропроцессора, который эксплуатируется в экстремальных условиях окружающей среды, таких как космические условия. При этом для анализа в качестве характеристик выбраны самые простые технические характеристики, такие как количество транзисторов, площадь кристалла и технологический процесс.

*Ключевые слова:* мультиразрядный микропроцессор, оценочный расчёт мультиразрядного микропроцессора.

## Введение

Современные вычислительные системы, представляя собой серьезный набор технических и программных средств. При этом многие отрасли народного хозяйства сложно представить без разработанных информационных систем. [1] Они используются в современном обществе, начиная с цифровых средств образования (электронное учебное пособие, различные электронные книги, энциклопедии, Интернет ...), и заканчивая современными системами автоматического проектирования для программных средств, и практически полной автоматизации производства для аппаратных средств.

Тем не менее, одной из актуальных проблем вычислительной техники является её надёжность. [2] Причем наиболее остро этот вопрос возникает для ситуации, когда вычислительная система создается для эксплуатации не в стандартных условиях, которые знакомы большинству пользователей, а для экстремальных условий окружающей среды, к которым можно отнести, например, ионизирующее излучение в космических условиях.

В качестве одного из возможных решений является использование мультиразрядных микропроцессоров. Однако, при этом возникает технологические вопросы, связанные с оценками такого подхода.

Целью статьи является описание методики оценки изменения данных параметров с построением простейшего расчёта в программе matlab для совместимой с AMD64 [3] моделью.

## Методология

Не смотря на распространенность, современные вычислительные системы имеют различную структуру построения, опирающуюся на микропроцессор, которые принадлежат к различным классам. При этом понятия микроконтроллер и микропроцессор в настоящее время уже не различимо с точки зрения моделей вычислительной техники. Обычно под микроконтроллером понимают предыдущее поколение микропроцессоров. Так, например, многие контроллеры обладает синтаксисом, совместимым с i8085 и i8086, которые в свое время были носителями целого поколения операционных систем [4].



Рис. 1. Краткая структура работы табличного регистра для микропроцессора выбранной архитектуры.

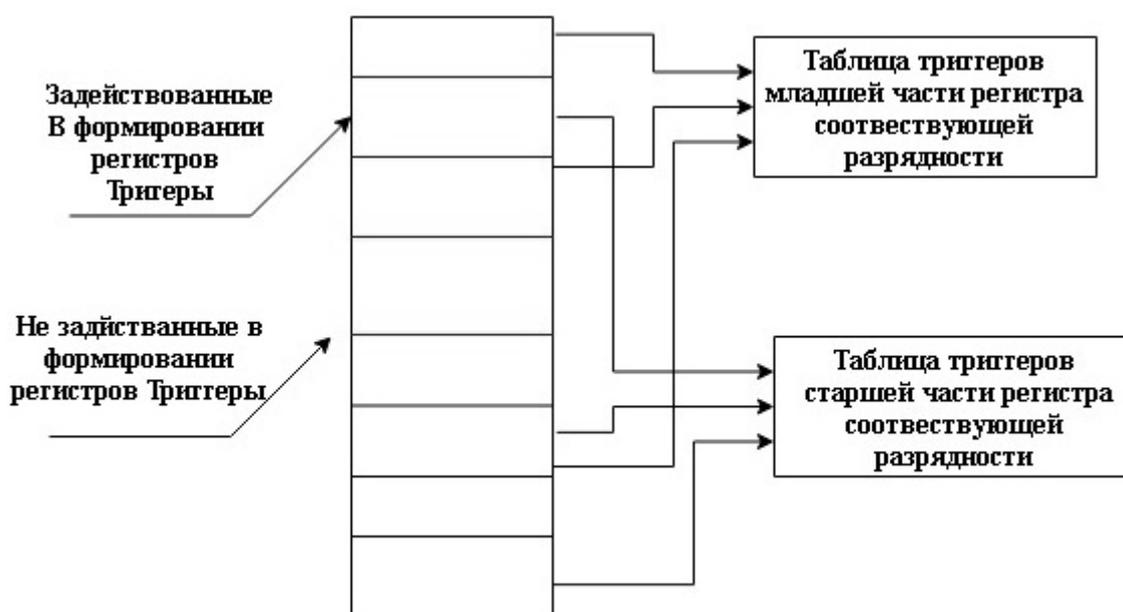


Рис. 2. Табличная структура регистра в разрезе триггеров, физическое расположение которых выбрано случайным образом.

Воздействие ионизирующего излучения на вычислительную технику можно отобразить следующим образом:

1. Сначала идет постепенный вывод аппаратной части из строя.
2. Аппаратные повреждения элементов вычислительной системы приводят к накоплению программных ошибок в вычислительных системах.
3. При накоплении критической массы ошибок идет программный выход из строя, который в обычных случаях невозможно исправить.

Например, при повреждении микропроцессоров ионизирующее излучение воздействует на него с различных сторон, причем характер воздействия может быть нескольких видов:

1. Удачный. Под удачным подразумевается то, что повреждения микропроцессора не позволяют использовать все возможности, однако имеется возможность использовать младшие режимы микропроцессора. Например, для AMD64 или эмулятора AMD архитектуры в Эльбрусе возможно использовать не режим AMD64, а режим IA-32.
2. Проблемный. Под проблемным режимом можно назвать то, что излучение попало случайно, но не так удачно, как хотелось бы — без использования специальных механизмов невозможно перестроить регистры и как следствие не возможен запуск на младшем режиме работы.
3. Ужасный. Использовать микропроцессор нельзя — повреждена как младшая, так и старшая части регистра.

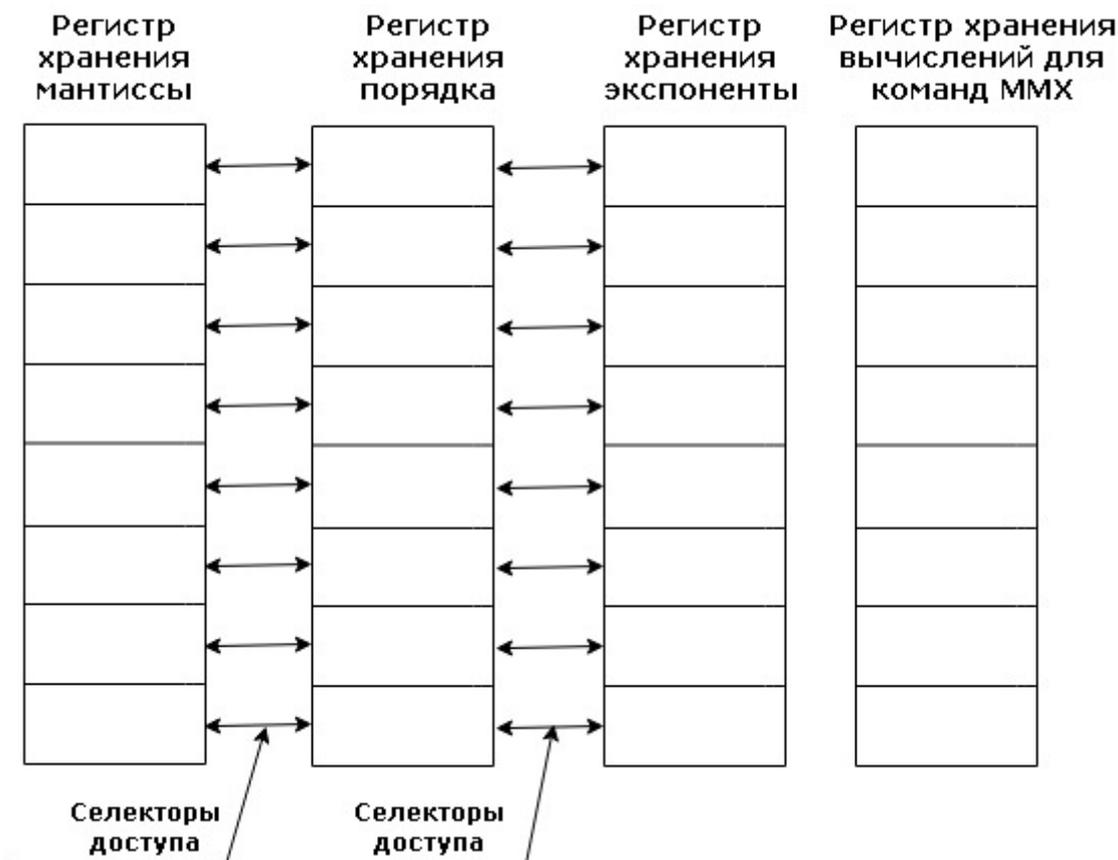


Рис. 3. Структура регистров сопроцессора на новой архитектуре.

Из этого списка наиболее устраивающий пользователей аппаратуры, вариант первый. Для того, чтобы добиться этого варианта, необходимо выполнить пере-строение внутренних механизмов микропроцессоров:

Табличная структуры работы с регистрами. Эта структура позволяет организовать логическое построение регистра, т.е. когда у нас каждый триггер в регистре помечен некоторым внутренним номером. А сам регистр представлен таблицей, в которой физический адрес и логический номер однозначно увязаны с собой. Структурная схема работы представлена на рис. 1.

Систему резервных триггеров. Этот механизм позволяет сохранять значения из основных триггеров регистра, и через логическую адресацию — восстанавливать записанное значение в регистре.

Специфическая структура работы регистров сопроцессора. Она нужна для упрощения работы с числами IEEE-754, и позволяет упростить схему смены режима адресации при использовании в мультиразрядном микропроцессора. Краткая схема представлена на рис. 3.

Однако, добавление рассмотренных специфических механизмов ведет к изменению характеристик микропроцессора. В частности, наиболее очевидными к изменениям относятся следующие характеристики:

1. Меняется технологический процесс микропроцесса. Формально по своим возможностям происходит технологический откат по числу транзисторов.
2. Меняется аппаратная размерность регистра (число триггеров на регистр).
3. Меняется число транзисторов, которое необходимо для работы на каждом режиме работы.

### Результаты

Как уже было описано в методологии, для построения имеющихся расчётов необходимо описать формулы расчётов и выбрать схематичные механизмы для решения этой задачи.

Для расчёта числа задействованных транзисторов, можно использовать следующий принцип: число транзисторов пропорционально отношению регистров, которые используются на каждом режиме работы микро-

Таблица 1. Сравнение моделей процессоров с разрядностью 32 и 64 бита

Показатель	Athlon 64	Pentium 4 Prescott	Athlon K7	Intel Pentium 4 Northwood
Частота, ГГц	2,2	2	2,2	1,6–3,4
Разрядность	64	64	32	32
Число транзисторов, млн	105,9	125	37,5	55

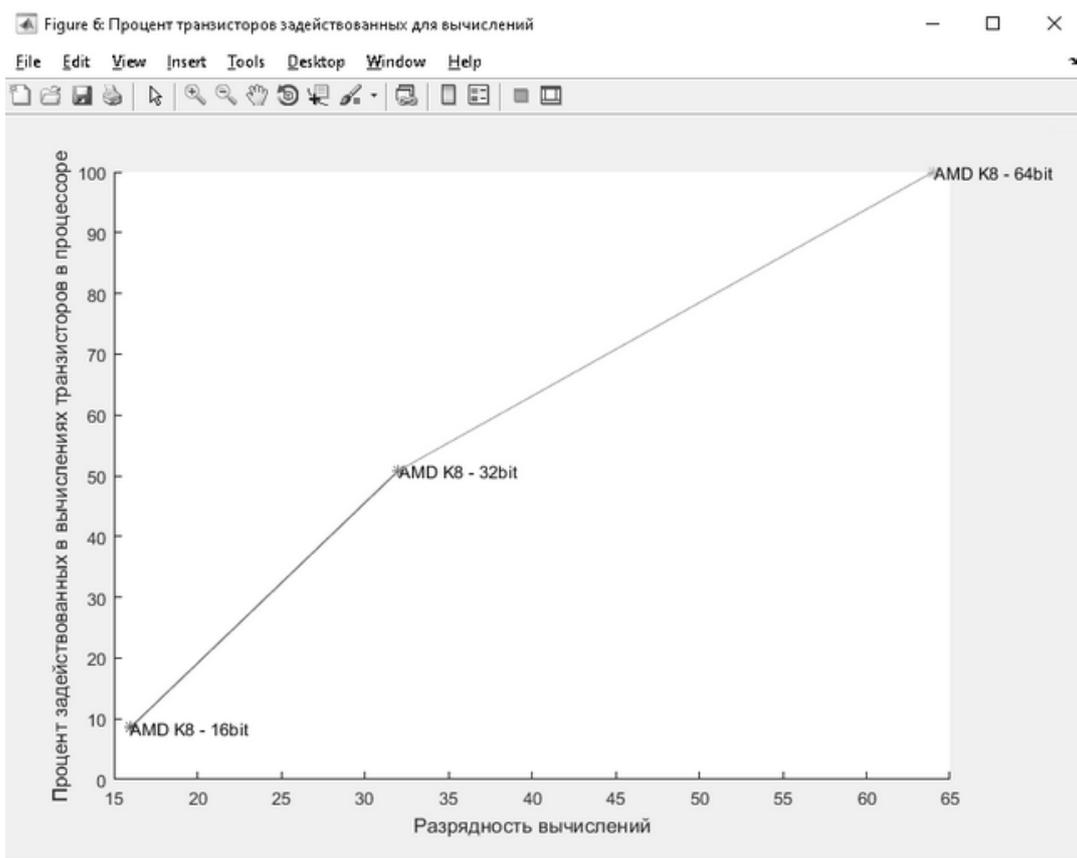


Рис. 4. Процент задействованных транзисторов в различных режимах работы на архитектуре AMD k8

процессора. Такая пропорция связана с тем, что, хотя и микропроцессоры могут быть и совместимы с i8086 в реальном режиме работы, тем не менее возможности существенно шире, чем даже для микропроцессора i80286.

Поэтому для расчётов транзисторов в микропроцессоре [6] можно использовать специальные формулы, которые изображены на формула 1 и формула 2.

$$P_{TR} = N_{reg} / N_{CPU} \tag{1}$$

$$S_{kaskd} = S_{CPU} / N_{CPU} \tag{2}$$

$$V_{CPU\_ANALOG} = V_{CPU} / (1 - N_{rez} / N_{CPU}) \tag{3}$$

Формула 1. Упрощенные формулы расчета данных по процессорам

$$P_{TR} = N_{reg} / N_{CPU} * N_{zad\_yad} / N_{zad\_cpy} \tag{1}$$

$$S_{kaskd} = S_{CPU} / N_{CPU} * N_{zad\_yad} / N_{zad\_cpy} \tag{2}$$

$$V_{CPU\_ANALOG} = V_{CPU} / (1 - N_{rez} / N_{CPU} * N_{zad\_yad} / N_{zad\_cpy}) \tag{3}$$

Формула 2. Расширенный вариант формул.

Отличие Формула 1 от Формула 2 в том, что последние формулы учитывают наличия нескольких ядер в микропроцессорах, например в модели [5] их целых 64.

Таблица 2. Характеристики сравниваемых процессоров по регистрам общего назначения.

Процессор	Число транзисторов (млн.)	Год Выпуска	Компания	Технологический Прогресс(нм.)	Площадь Кристалла
Core i7 Ivy Bridge E	1860	2013	Intel	22	256
GPU Iris Core i7 Бродуэлла-U	1900	2015	Intel	14	133
Xeon 7400	1900	2008	Intel	45	503
Itanium Tukwila	2000	2010	Intel	65	699
Xeon E5 (Sandy Bridge-E / EP)	2270	2011	Intel	32	434
Xeon Nehalem-EX	2300	2010	Intel	45	684
Core i7 Haswell-E	2600	2014	Intel	22	355
Xeon Westmere-EX	2600	2011	Intel	32	512
8-ядерный AMD Bulldozer	1200	2012	AMD	32	315
GPU AMD Trinity	1303	2012	AMD	32	246
Ryzen 5 1600 Ryzen	4800	2017	AMD	14	213
32-ядерный AMD Epyc	19200	2017	AMD	14	768

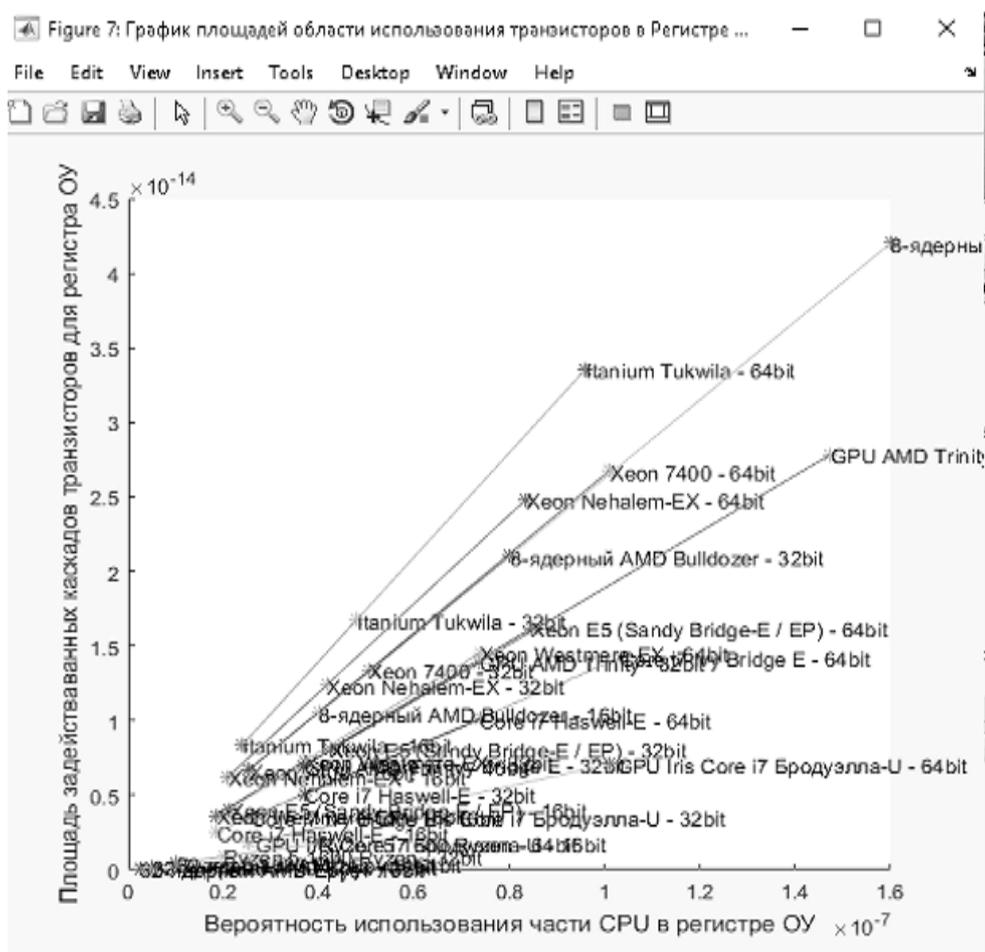


Рис. 5. Сравнительный график модельного ряда процессоров с добавлением резервного копирования для одного регистра.

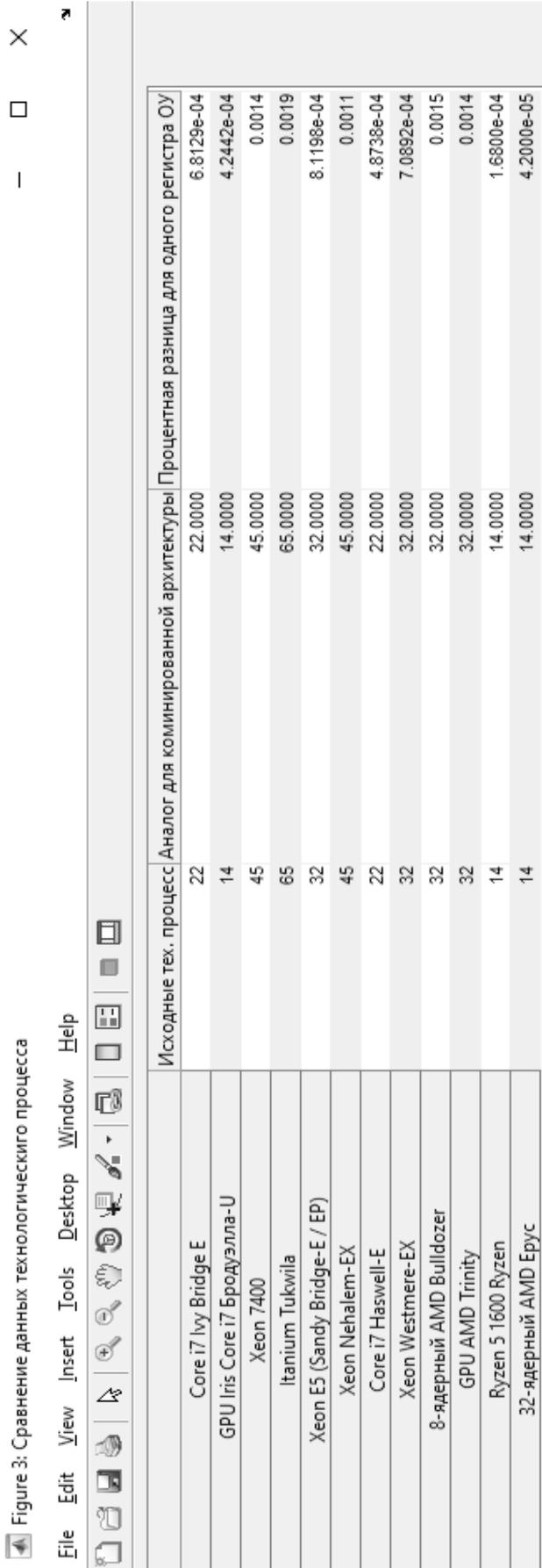


Figure 3: Сравнение данных технологического процесса

Рис. 6. Скриншот табличного результата, построенного при помощи программы Matlab 2015b

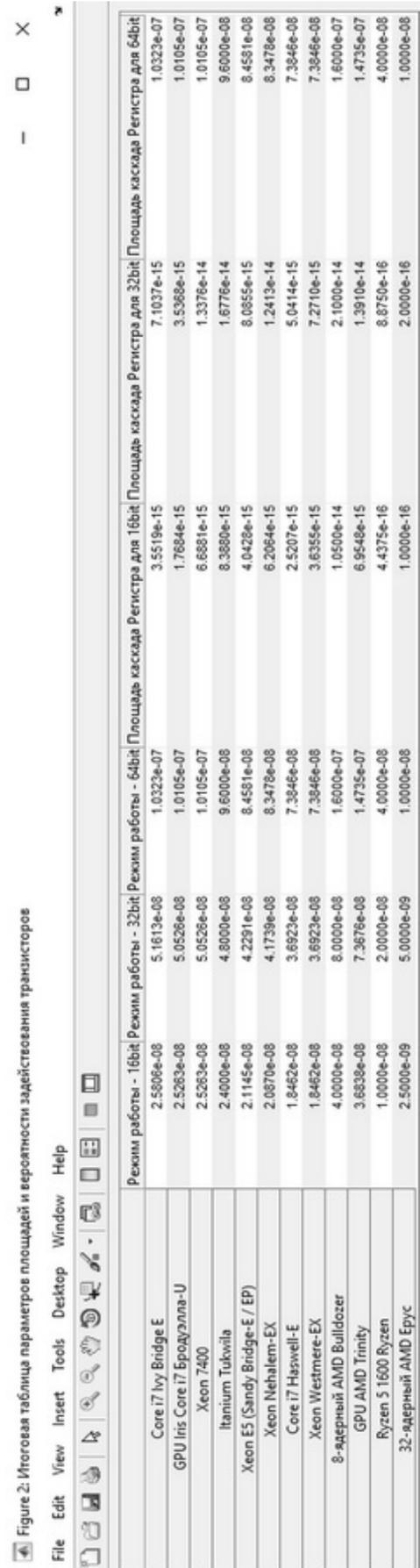


Figure 2: Итоговая таблица параметров площадей и вероятности задействования транзисторов

Рис. 7. Скриншот сравнительно анализа на предмет увеличения площадей при внедрении механизма резервной копии для одного регистра.

Для примера рассмотрим следующие модели микропроцессоров, характеристики которых показаны в таблице 1.

Для семейства AMD выполним следующий расчет: сначала определим отношения Athlon K7 (модель IA-32), и модель Athlon 64 (первая версия AMD64) по транзисторам и затем по регистрам.

Получим:

1. ОЧТ в ядре ЦПУ =  $37,5/105,9 = 0,3541$ ;
2. ОЧТ в регистрах ЦПУ =  $(13*32)/(19*64) = 0,3421$ .

В результате разность составит:  $0,3541 - 0,3421 = 0,012$ . Это отличный результат.

Для семейства Intel.

1. ОЧТ в ядре ЦПУ =  $55/125 = 0,44$ ;
2. ОЧТ в регистрах ЦПУ =  $(13*32)/(19*64) = 0,3421$ .

В результате разность составит: ОЧТ:  $0,44 - 0,3421 = 0,0989$ .

К этому результату необходимо добавить следующее примечание: разброс у микропроцессоров для Intel связан с тем, что внедрялись очень большие изменения в каждую из моделей, в том числе и кэш память.

Поэтому график использования транзисторов для каждого из режимов для микропроцессора AMD64 может быть построен следующим образом (см. Рис. 4).

Таким образом, получается, что введенной оценки доли задействованного микропроцессора для нескольких режимах является практически применимой. Однако все-таки желательно дополнительно учитывать и внутренние триггеры в микропроцессоре, которые хранят внутренние значения.

Возникает вопрос, а каким образом поведут себя более умные микропроцессоры, которые относятся к последним поколениям. Для построения графиков выберем следующие микропроцессоры с техническими характеристиками (см. Таблица 2).

Для более умных микропроцессоров, которые сойдутся в Таблица 2, результаты расчёты по на Рис. 5.

Результат построения такого графика изображён на Рис. 5 и Рис. 6 и Рис. 7.

Для расчёта остальных величин воспользуемся следующим алгоритмом:

1. Для вычисления технологического процесса — добавляем к одному регистру резервные три-

ггеры и затем считаем аналогичный технологический процесс (текущей процесс умножаем на отношения транзисторов и затем находим разность).

2. Анализ площадей строиться в оценке того, насколько при внедренном одном регистре будет изменение размерности самого кристалла. Алгоритм расчёта будет аналогичным предыдущему пункту, но в качестве множителя наступает площадь поверхности.

Полученные результаты продемонстрированы на Рис. 6 и Рис. 7.

Таким образом с точки зрения современного микропроцессора в целом больших изменений при внедрении изменений для одного регистра не обнаружено. Для изменений по всем регистрам пропорции увеличатся до некоторой величины.

## Обсуждение

Большинство работ, которые посвящены космическим исследованиям, в основном описывают улучшения вычислительных систем, с помощью механизмов дублирования поврежденного функционала. Автором Зебревым был рассмотрен вопрос воздействия излучением на интегральные микросхемы [7], а Лаговым в диссертации также были рассмотрены ионизирующие эффекты в микропроцессоре с точки зрения внутренней структуры, но, тем не менее, архитектура не была предложена.

Поэтому, основываясь на результатах программы matlab, выведенных в рамках Рис. 6 и Рис. 7, можно сделать вывод: модификация одного регистра существующего процессора на новый механизм с добавлением триггеров для хранения одной или нескольких резервных копий значений, не меняет технологический процесс у выбранного модели, так как соотношения исходной и модифицированной архитектуры меньше сотых долей нанометров.

Поэтому при внедрении в микропроцессор защитных механизмов позволяет повысить устойчивость к ионизирующему излучению за счет незначительного увеличения числа дополнительных компонентов, количественные характеристики которых не слишком влияют на размерность микропроцессора.

## Заключение

В статье были рассмотрены простейший математический расчёт на основе, выбранных простейших показателей, как число транзисторов для каждого режима, ис-

пользуемая площадь на каждом из режимов для одного регистра позволяют сделать вывод: в общем виде с точки зрения размерностей микропроцессора изменений существенных не предвидится.

Оценки показывают, что механизмы мультиразрядных микропроцессоров обеспечивают наилучшим образом необходимую надежность в экстремальных условиях эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Босова Л.Л., Босова А.Ю. «Информатика. Базовый уровень». Учебник для 10 класса. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2017. — 288 с.
2. Зыков А.Г., Поляков В.И. Арифметические основы ЭВМ. — СПб: Университет ИТМО, 2016. — 140 с.
3. AMD x86–64 Architecture Programmer's Manual.: Application Programming. URL: <http://support.amd.com/TechDocs/24592.pdf>. (дата обращения 13.11.2022)
4. Инюшкина О.Г. Проектирование информационных систем (на примере методов структурного системного анализа): учебное пособие, Екатеринбург: «Форт-Диалог Исеть», 2014. 240 с.
5. AMD EPYC™ 7763 | AMD. <https://www.amd.com/ru/products/cpu/amd-epyc-7763#product-specs>. (дата обращения 13.11.2022)
6. Приходько Д.И. Разработка и оптимизация методов эксплуатации информационных систем как этапа их жизненного цикла с учетом воздействия агрессивной внешней среды: дис. магистерская: 01.04.02 — РГУ им. А.Н. Косыгина, Москва, 2021–204 с.
7. Зебрев Г.И. Монография. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах высокой степени интеграции, 2010

© Приходько Дмитрий Игоревич (mitry1205@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Российская академия наук

# АНАЛИЗ КОМПЬЮТЕРНЫХ ЧИСЛОВЫХ ТИПОВ ДАННЫХ В МУЛЬТИРАЗРЯДНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ, ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОПЕРАЦИИ Понижения РАЗРЯДНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЙ

**Приходько Дмитрий Игоревич**

Магистр, инженер вычислительных и электронно-вычислительных машин, Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, г. Москва  
mitry1205@mail.ru

## ANALYSIS OF COMPUTER NUMERIC DATA TYPES IN MULTI-BIT COMPUTER SYSTEMS IN RELATION TO OPERATION OF COMPUTATION REDUCTION

**D. Prikhodko**

*Summary.* The article deals with mathematical features, which are possessed by computer numerical sets in relation to operation of computation reduction, for this purpose universal methods of compressing numerical data types from one bit to another are considered, at the same time operations of addition and multiplication on the subject of operation speed and speed are considered. Reductive formulas for the operation of reducing the bitness of calculations are described. This is a characteristic calculation for the AMD64 processor using matlab.

*Keywords:* reduction of bit length, mathematical features of the reduction of bit length operation.

*Аннотация.* В статье рассмотрены математические особенности, которыми обладают компьютерные числовые множества применительно к операции понижения разрядности вычислений, для этого рассмотрены универсальные способы сжатия числовых типов данных с одной разрядности на другую, при этом рассмотрены операции сложения и умножения на предмет быстродействия, скорости операции. Описаны редуцирующие формулы для операции снижения разрядности вычислений. Приведен характеристический расчет для процессора AMD64 с помощью программы matlab.

*Ключевые слова:* понижение разрядности, математические особенности операции понижения разрядности.

### Введение

**В** рамках существующей модели при реализации механизмов смены разрядности вычислений самым сложным этапом является этап смены разрядности вычислений с точки зрения целостности числовых типов данных, по основной причине — все типы данных в современных вычислительных системах всегда преобразуются в числовые операции. Это связано с тем, что микропроцессор не знает, что такое класс, строка, функция, объект и т.д. Более того, т.к. при смене режима работы микропроцессора идет не только изменение размера адресов, которыми оперируют операционная система и программы, но и размерам самих чисел.

По этой причине смена режима работы вычислительной системы в первую очередь влечет за собой потерю данных из-за смены режима микропроцессора или разрядности вычислений, что в лучшем случае приводит к ошибкам в расчетах, а в худшем случае приводит к критическим ошибкам вычислительной системы.

### Цель статьи

Рассмотреть базовые способы преобразования основных числовых типов данных в компьютере с точки зрения уменьшения размеров использования.

### Методология

При выполнении смены разрядности вычислений, основной вопрос заключается в несовпадении доступных диапазонов и возможностей микропроцессора при работе с числовыми данными [1]. В свою очередь точность вычислительной системы ограничена 2-мя значениями:

1. Максимальным размером ячейки памяти.
2. Технические особенности представления типа данных.

С точки зрения операции снижения разрядности вычислений, все *типы данных* вписываются в имеющиеся ячейки памяти. Поэтому при смене разрядности вычислений происходит сужение размеров доступной

ячейки памяти [2], что неизбежно приводит к тому, что числовые типы данных, позволяющие работать с большими числами — начинают страдать от снижения точности.

Для преобразования типов данных существуют несколько методов. Из них наиболее очевидны следующие:

1. *Простое аппаратное отсечение разрядов от числа.* Самый простой способ для преобразования данных, и потому самый плохой, поскольку не гарантирует целостность данных вообще.
2. *Использование программных средств преобразований числовых множеств.*
3. *Комбинированный подход.* Способ объединяет оба описанных выше. Является сравнительно медленным по сравнению с программным методом.

*Простое аппаратное отсечение разрядов от числа.* Стандартный способ, который заключается в простом логическом отключении поврежденных триггеров без учета резервных копий и внутренней структуры типов данных, последствия которых могут быть фатальными как для программы, так и для операционной системы в целом.

*Использование программных средств преобразований числовых множеств.* Этот способ основан на том, что мы преобразуем, типы данных, которые недоступны для младшей разрядности вычислений (не хватает размера или самих регистров). Важно отметить, что преобразование типов данных без физической изоляции триггеров на практике невозможно, из-за наличия риска повторного использования поврежденного триггера. В чистом виде — не рекомендуется.

*Комбинированный подход.* Данный подход объединяет способ «Простое аппаратное отсечение разрядов от числа» и способ «Использование программных средств преобразований числовых множеств». Оба способа описаны в предыдущих абзацах, и их объединение выполнено с целью избавиться от недостатков каждого из способов. При этом алгоритм использования этого способа состоит из следующих этапов:

1. Выполнить преобразования всех больших типов данных в меньшие типы данных без потерь данных.
2. После того как было выполнено преобразование типов данных, выявить несжимаемые вычисления. Для них выполняются следующая последовательность действий:
  - а. Числа с фиксированной точкой и целые числа необходимо конвертировать в числа с плавающей точкой.

б. Числа с плавающей точкой необходимо конвертировать в доступные для выбранного режима микропроцессора типы данных. В исключительных случаях можно вместо регистров использовать специальные библиотеки для эмуляции поведения.

3. После выполнения пункта 2 выполняем окончательное преобразование числовых типов данных.
4. По первому способу приводим размерность регистров с одной режима работы микропроцессора на другой.

*Самый главный недостаток* заключается в том, что механизм преобразования достаточно трудоемкий с точки зрения производительности, что приводит к падению как программ, так и в самом худшем случае приводит к фатальной ошибке в операционной системе, что приводит либо к перезагрузки всей системы или её компонентов.

В рамках настоящей статьи будет разобран комбинированный способ переключения и его погрешности. *Целью статьи является анализ применения комбинированного подхода к основным числовым типам в компьютере и базовая оценка погрешности.*

## Результаты

В частности, для данных чисел сначала рассмотрим символьные особенности формул, с помощью которых можно получить итоговые числовые данные. При этом несмотря на то, что числовые типы данных в компьютере имеют различные как математические аналоги [3], так и особенности их построения, можно отметить, что в рамках символьных деталей.

При этом для анализа будет рассмотрен базовый случай, когда новой разрядности (в меньшую сторону), когда разрядов достаточно.

Взамен падения точности идет увеличение скорости операций чтения/записи в триггеры регистра, поэтому скорость работы с числовыми операциями увеличивается. Для начала определим её увеличение в символьном виде применительно к операциям [4]:

1. Анализ операции умножения.
2. Анализ операции сложения

Для выполнения анализа операций можно использовать следующие формат записи:

1.  $M1\_1 = M'1\_1 * 2^{k1\_1} + a1\_1;$
2.  $M2\_1 = M'2\_1 * 2^{k2\_1} + a2\_1;$

Где:

1.  $M1\_1$  и  $M2\_1$  — исходные числа.
2.  $M'1\_1$  и  $M'2\_1$  — числа, преобразованные в другую разрядность вычислений (в первую очередь на пониженную разрядность). Компактный формат числа, который характеризуется тем, что
3.  $k1\_1$  ( $k2\_1$ ) — показатели конверсии (т.е. на что надо умножить, чтобы получить исходное число)
4.  $a1\_1$  и  $a2\_1$  — остатки чисел (сгорающая часть при понижении разрядности). Т.е. эти разряды будут обнулены в простейшем случае, при сохранении точности вычислений.

Поскольку для каждой модели и режима микропроцессора размерности ячеек памяти и регистров определены документацией, то, следовательно, можно говорить о том, что величины  $a1\_1$  и  $a2\_1$  являются исчисляемыми.

А раз числа  $a1\_1$  и  $a2\_1$  являются исчисляемыми, то значит что в рамках архитектуры микропроцессоров, которая характеризует модельный ряд, можно определить  $a1\_1$  и  $a2\_1$  для каждого режима микропроцессора, т.е. сделать её малой в рамках дозволенного архитектурой.

По этой причине можно отметить, что *операция понижения разрядности вычислений* представляет собой с точки зрения числовых типов данных переход от точных вычислений к приближенным вычислениям [5].

*Тогда операции сложения и умножения согласно законам приближенных вычислений, приобретает значение, равное сумме разрядов  $a1\_1$  и  $a2\_1$ .*

Тем не менее, так как число разрядов, с помощью которого представляются числовые множества в компьютере в упрощенном анализе у нас уменьшено, то, следовательно, можно оценить приращение скорости с точки зрения выполнения операции, так как микропроцессору нужно задействовать меньшую часть АЛУ.

Разумеется, при оценке приращения скорости, вызванной потерей точности, необходимости проводить оценку отдельно для целых чисел, и чисел с плавающей точкой, так как каждая часть числа с плавающей точкой — мантисса, порядок, и для последнего стандарта на момент публикации IEEE-754–2019[6] записывается как целое число, а поэтому можно оценивать только целые числа.

Поэтому выполнить анализ на оптимизацию можно при помощи одного набора формул для выбранных типов чисел.

*Анализ операции умножения.* Операция умножение имеет несколько алгоритмов, начиная от самого простого варианта —  $n^m = n^m$  (прямое произведение чисел) и заканчивая некоторыми продвинутыми алгоритмами, которые сокращают число операций внутри микропроцессора в несколько раз. Оценку операции умножения авторы выполняют на основе самого простого алгоритма. Причем для анализа достаточно оценить следующую дробь:

$$(M'1\_1 * M'2\_1) / ((M'1\_1 * 2^{k1\_1} + a1\_1) * (M'2\_1 * 2^{k2\_1} + a2\_1)).$$

Если устремить  $M'1\_1$  и  $M'2\_1$  к бесконечности, тогда результат анализа может быть выполнен в виде дроби:

$$1 / (2^{k1\_1} * 2^{k2\_1} + O(2^{k1\_1} * 2^{k2\_1})), \text{ т.е. дроби с } k1\_1 \text{ и } k2\_1 \text{ с некоторой надбавкой по скорости, которая устремлена к 0. Следовательно, для оценки достаточно дроби } 1 / (2^{k1\_1} * 2^{k2\_1}).$$

Для чисел с плавающей точкой, особенности арифметики которых, были рассмотрены авторами в работах [7][8], можно рассмотреть в упрощенном виде как сумму дробей из мантиссы, порядка и возможно, экспоненты, если используется десятичное число из стандарта.

Поэтому, скорость при сдвинутых числах получается быстрее при умножении на помноженное количество откинутых разрядов у сомножителей как для типов float, так и для типов int на  $1 / (2^{k1\_1} * 2^{k2\_1})$ .

Анализ операции сложения. Для выполнения анализа будет использовано тоже представление чисел, которое было использовано для операции умножения. Для выполнения оценки операции умножения достаточно оценить дробь:

$$(M'1\_1 + M'2\_1) / ((M'1\_1 * 2^{k1\_1} + a1\_1) + (M'2\_1 * 2^{k2\_1} + a2\_1)).$$

Поделим дроби на числитель, получим:

$$1 / ((M'1\_1 * 2^{k1\_1} + M'2\_1 * 2^{k2\_1}) / (M'1\_1 + M'2\_1) + (a1\_1 + a2\_1) / (M'1\_1 + M'2\_1)).$$

Последнее выражение — величина младшего порядка, следовательно, можно пренебречь:

$$1 / (M'1\_1 * 2^{k1\_1} + M'2\_1 * 2^{k2\_1}) / (M'1\_1 + M'2\_1).$$

Для получения оценки теперь нужен анализ знаменателя:

$$(M'1\_1 * 2^{k1\_1} + M'2\_1 * 2^{k2\_1}) / (M'1\_1 + M'2\_1) = 2^{k1\_1} / (1 + M'2\_1 / M'1\_1) + 2^{k2\_1} / (M'1\_1 / M'2\_1)$$

Очевидно, что числители каждой из дробей большего порядка, а, следовательно, для оценки можно использовать следующую дробь:

$$1 / (2^{k1\_1} + 2^{k2\_1})$$

Поэтому скорость при сдвинутых числах увеличивается при сложении на значение, равное  $(2^{k1\_1} + 2^{k2\_1})$ , где  $k1\_1$  и  $k2\_1$  — порядок оставшихся разрядов, как для float, так и для int.

*Т.е. в целом скорость возрастает на значение потери разрядов.*

Теперь необходимо рассмотреть оптимизацию с точки зрения выполнения нескольких операций. Для этих целей воспользуемся редуктивными формулами.

Для описываемых формул введем следующие общие обозначения:

1. S — итоговое число.
2. N — исходное число.
3. i — индекс разряда числа.
4. k — число разрядов итогового числа.
5. ArI — исходная разрядность вычислений.
6. ArR — итоговая разрядность вычислений.
7. L — длина исходного числа или части числа.

Для целых чисел запишем общую символьную формулу, состоящую из суммы разрядов (см. формула 1).

$$S = \sum_{i=0}^n N(L-i) * p^i$$

**Формула 1.** Общая формула целых чисел

Для того, чтобы получить число на другом режиме микропроцессора или разрядности, обязательно учесть, что смена разрядности вычислений уменьшает число доступных разрядов в регистрах, и, следовательно, для записи чисел после смены разрядности вычислений необходимо использовать формулу 2.

$$S = \sum_{i=0}^k N(L-i) * p^k$$

$$k = \frac{ArI}{ArR} * L$$

**Формула 2.** Редуктивные формулы работы с целыми числами.

Как уже было описано выше, для смены разрядности вычислений с точки зрения анализа разрядности числа в упрощенном виде изображены на скриншоте формулы 3.

$$S_{\text{Мантиссы}} = \sum_{i=0}^k N(L_{\text{Мантиссы}} - i) * p^k$$

$$k_{\text{Мантиссы}} = \frac{ArI}{ArR} * N(L_{\text{Мантиссы}})$$

$$S_{\text{Порядка}} = \sum_{i=0}^k N(L_{\text{Порядка}} - i) * p^k$$

$$k_{\text{Порядка}} = \frac{ArI}{ArR} * N(L_{\text{Порядка}})$$

**Формула 3.** Редуктивные формулы для чисел с плавающей точкой

Основываясь на приведенных формулах, авторы перейдут к примерному математическому расчету, на котором рассмотрят математический расчет, основанный на сравнении данных моделей микропроцессора AMD64[9]. Расчет не является точным, но он дает первичное представление о возможных положительных эффектах для оптимизационных числовых алгоритмов операции понижения разрядности вычислений.

Для оценки выполним сравнение по нескольким показателям:

1. *Время выполнения одной операции.* Его можно получить из известной скорости выполнения нескольких операций в секунду.
2. *Оценочное значение операции чтения/записи данных в одну ячейку памяти регистра.* Получается, через деление первого показателя на размер регистра.

*Время выполнения одной операции рассчитывается таким образом:*

$$T_{one} = T_n / N, \text{ где:}$$

1. T(one) — это время выполнения одной операции.
2. T(N) — время операций, которое документировано.
3. N — Число операций за документированную единицу времени.

*Оценочное значение операции чтения/записи данных в одну ячейку памяти регистра рассчитывается таким образом:*

$$V_{итог} = V_{ed} * N_{рег}, \text{ где:}$$

1. V(ed) — время операции записи/чтения в ячейку памяти.
2. V(итог) — итоговое время операции записи/чтения в регистр.
3. N(рег) число ячеек памяти в регистре.

Таблица 1. Таблица характеристик процессоров

Показатель	Athlon 64	Pentium 4 Prescott	Athlon K7	Intel Pentium 4 Northwood
Частота, ГГц	2,2	2	2,2	1,6–3,4
Разрядность	64	64	32	32
Число транзисторов, млн	105,9	125	37,5	55

Name	Value
Diff_16	2.3333
Diff_32	1.4000

Рис 1. Результат вычисления по формуле результата оптимизации.

Теперь определим, как именно повысится скорость и точность вычислений. Под удовлетворительной точностью вычислений, будем понимать ситуацию, когда результаты компьютерной операции соответствуют требуемым результатам полностью или в пределах допустимой погрешности.

Для анализа воспользуемся данными статьи из источника [10], в которой были рассмотрены первые поколения процессоров AMD64. При выполнении расчета будет использоваться только тактовая частота процесса, так как модель Athlon 64 является одноядерной.

Для расчета был выбран Athlon 64, так как является самым первым из всех современных микропроцессоров с набором команд AMD64. Расчет был выполнен на примере анализа программы по вычислениям, состоящей из следующих блоков:

1. 300 команд 64 бита.
2. 300 команд 32бита.
3. 300 команд 16 бит.

Рассмотрим теперь 2 пониженных в разрядности аналога программ:

1. 600 команд 32бита.
2. 300 команд 16 бит.

Формула оценки времени выполнения программы по отношению к тактам:

$$T_{итог} = \sum Takt_{64} + \sum Takt_{32} + \sum Takt_{16},$$

где:

1. T(itog) — итоговое время выполнения тактов по программе, или итоговое выполнение программы.

2. Takt\_32, Takt\_16, Takt\_64 — тактовое время операций с числами 32, 16 и 64 бит соответственно.

Для автоматизации выполнения оценки использовалась следующая программа на языке matlab:

%Тактовая частота:

Takt\_CPU=2.2\*10^9;%Взятая тактовая частота процессора:

```
T_one_Tact=1/Takt_CPU;
T_tact_reg_64=T_one_Tact*64;
T_tact_reg_32=T_one_Tact*32;
T_tact_reg_16=T_one_Tact*16;
```

%Определяем время реальной операции на старшей и младшей разрядности:

```
Program_64=300*T_tact_reg_64+T_tact_reg_32*300+T_tact_reg_16*300;
```

%Пониженная до 32 бит версия выглядит таким образом:

```
Program_32=T_tact_reg_32*600+T_tact_reg_16*300;
```

%Для 16 битного понижения итоговая программа будет выглядеть таким образом:

```
Program_16=T_tact_reg_16*900;
```

%Теперь определим эффект от понижения разрядности:

```
Diff_32=Program_64/Program_32;
Diff_16=Program_64/Program_16;
```

В Переменной Takt\_CPU использовалось тактовая частота процессора Athlon 64. В результате вычислений получились результаты, изображенные на Рис 1.

В данном случае небольшой положительный эффект отличается следующими особенностями:

1. Равное разделение вычислений между типами данных. Однако в программах вычисления представлены в первую очередь максимальной разрядностью вычислений.
2. В программе считается, что размеры операндов команд не превышают размеры регистров.
3. Число тактов для всех операций одинаково, что не совсем корректно для современных программ.
4. Для операций с числами полагается одинаковое число тактов на каждой разрядности вычислений. Учитывая особенности работы процессора в эмуляции старых моделей — это не совсем корректно.
5. Не учтены коэффициенты операций, т.е. предполагается, что каждая операция выполняется за один временной такт не зависимо от разрядности.

## Обсуждение

Описанные особенности позволяют совершенно точно и правильно доработать модели снижения разрядности вычислений при проектировании информационной системы. В частности, авторами были предложены несколько моделей технического решения [11] [12]. Более того, при помощи указанной арифметики можно добиться вспомогательного эффекта при внедрении в интеллектуальные системы [13], которые предполагается разместить на борту космических аппаратов. Первоочередное отличие заключается в том, что в предыдущих работах рассматривался вопрос об аппаратном понижении разрядности вычислений,

но наиболее серьезные последствия заключаются в том, что при повреждении кристалла идет сокращение программных возможностей микропроцессоров. При этом даже если микропроцессор сможет выполнять свои функции, но, тем не менее, результатом будет в первую очередь программные повреждения, что приводит к серьезнейшим ошибкам, в некоторых случаях падение системы задолго до реального уничтожения кристалла.

Более того, при использовании специальных эмулирующих библиотек для реализации функций можно добиться возникновения ещё одного вида погрешности. Например, во времена разработки 16 битных программ [14], в частности во времена i8086 и до i487, когда процессор и сопроцессор были спаяны в одно устройство, были доступны библиотеки, которые эмулируют поведение сопроцессора i8087, и позволяющие таким образом обходиться без сопроцессора вообще. В таком случае необходимо учитывать ещё и возможные ошибки работы используемой библиотеки.

## Заключение

В рамках данной статьи были описаны математические особенности компьютерной математики, которые напрямую влияют на операцию понижения разрядности вычислений. Были рассмотрены виды сжатия числовых данных, которые можно применить для микропроцессора. Был предложен способ сжатия данных через метод преобразования целочисленных вычислений в вычисления с числами плавающей точкой.

При этом была проведена оценка потери разрядов при смене разрядности вычислений. Были рассмотрены типы погрешностей, которыми характеризуются числовые множества, попадающие в операции смены разрядности вычислений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. IEEE Standard for Binary Floating-Point Arithmetic. Copyright 2019 by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc 345 East 47th Street, New York, NY10017, USA.
2. Горшков В.В., Мокряков А.В., Приходько Д.И. Алгебраическая структура чисел с плавающей точкой. Перспективы науки. 2020. № 12 (135). С. 78–83.
3. Горшков В.В., Мокряков А.В., Приходько Д.И. Свойства компьютерных операций над числами с плавающей точкой / международная научная конференция: «стандартизация и техническое регулирование: современное состояние и перспективы развития. Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2020. № 6 (58). С. 349–355.
4. AMD64 Architecture Programmer's Manual, Volume 3. URL: <https://www.amd.com/system/files/TechDocs/24594.pdf> (дата обращения 25.08.2022)
5. Компьютеры. Athlon 64, Athlon 64 FX и Pentium 4. Часть первая. URL: <https://www.ferra.ru/review/computers/s25340.htm> (дата обращения 25.02.2021).
6. Горшков, В.В., Приходько, Д.И. & Мокряков, А.В. Устройство для управления конфигурацией вычислительной системы. (2021). Патент на полезную модель 207176 U1, 15.10.2021. Заявка № 2021118609 от 25.06.2021.
7. Горшков, В.В., Приходько, Д.И. & Мокряков, А.В. Устройство для управления разрядностью вычислений. (2022). Патент на полезную модель 209758 U1, 22.03.2022. Заявка № 2021118607 от 25.06.2021.

8. М.В. Дебиев, Р. А-М. Магомадов, Т.Ш. Амхаев, Ш.З. Зиниев. Эффекты внедрения автоматизированных электроэнергетических систем на основе интеллектуальных сетей. (2021). Вестник ГНТУ. Технические науки, том XVII, № 1 (23). С. 15–20.
9. Приходько, Д.И. Методы оптимизации размера программы на языке ++ / Д.И. Приходько, А.В. Мокряков, В.В. Горшков // Наука и образование: сохраняя прошлое, создаём будущее: сборник статей XXXI Международной научно-практической конференции: в 2 ч., Пенза, 10 декабря 2020 года. — Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. — С. 63–67. — EDN EKGUEO.

© Приходько Дмитрий Игоревич ( mitry1205@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Российская академия наук

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

### MAIN PRINCIPLES AND PATTERNS OF THE DIGITAL ECONOMY IN THE SYSTEM OF HIGHER EDUCATION

**N. Rodiontsev**

*Summary.* This article discusses the process of developing educational digital technologies that can modernize traditional forms of education to increase the level of the educational process in an educational institution. The definition of digital services and their types is given, as well as a detailed description of the service-financial model of the digital economic system of the university for the provision of educational services. In addition, the authors disclose a simulation method for describing the ongoing processes.

*Keywords:* digital economy, educational organizations, simulation modeling, technology, digital service, digital economic system.

**Родионцев Николай Никитович**

Старший преподаватель, Тюменский  
индустриальный университет, г. Нижневартовск  
nic\_rodionsev@mail.ru

*Аннотация.* В данной статье рассматривается процесс разработки образовательных цифровых технологий, способных модернизировать традиционные формы обучения для повышения уровня образовательного процесса в учебном заведении. Приводится определение цифровых сервисов и их типов, а также дается подробное описание сервисно-финансовой модели цифровой экономической системы ВУЗа по оказанию образовательной услуги. Кроме того, авторами раскрывается метод имитационно-моделирования для описания проводимых процессов.

*Ключевые слова:* цифровая экономика, образовательные организации, имитационное моделирование, технологии, цифровой сервис, цифровая экономическая система.

**Н**а мировом уровне в ближайшие несколько десятилетий наиболее актуальными в различных областях станут информационно-коммуникационные технологии, опирающиеся на телекоммуникационные системы. Данный тотальный процесс непосредственно касается и сферы цифровизации образования. Актуальной задачей в нынешних реалиях стала разработка таких образовательных цифровых технологий, которые способны модернизировать традиционные формы обучения с целью повышения уровня образовательного процесса в учебном заведении любой степени. В целях достижения цифровизации процесса обучения необходимо внедрять в высшее образование инновационные методики, процедуры и формы профессиональной подготовки будущих специалистов новой формации, необходимо создавать мощную цифровую инфраструктуру в ВУЗах на базе развитого информационно-компьютерного учебного кластера, необходимо разрабатывать интернет-технологии, программное обеспечение электронного обучения, инновационные коммуникационные сети (глобальные, национальные, локальные).

Важную роль в этом процессе играют цифровые сервисы высшего учебного заведения, поскольку широкое использование в теперешнем образовательном «действии» информационно-коммуникационных технологий, введение электронных обучающих систем, особенно,

полнотекстовых лекционных материалов, размещенных на электронных носителях информации различной направленности, способствует эффективному взаимодействию между субъектами учебного процесса — студентами и средствами обучения, обеспечивает обратную связь, диалог между теми, кто учит, и кто учится, облегчает управление учебным процессом, что затруднено в большей части традиционных систем обучения.

Цифровая экономическая система, построенная с использованием компьютерной техники, дает возможность обмена информацией без временных и пространственных ограничений, обеспечивает массовое непрерывное самообучение.

Учебный процесс не остался вне влияния развития информационных технологий. Электронные компьютерные учебники, дистанционное образование, виртуальные тренажеры — так выглядит неполный перечень направлений, успешно развивающихся в образовательных системах. Глобализация знаний, быстрые темпы накопления и распространения информации вызывают появление новых подходов к учебному процессу. Созданные в прошлом веке учебники и пособия уже устарели, что обуславливает поиск и внедрение новых форм накопления и представления информации, в частности — разработку и внедрение электронных учебных изданий.

Кроме структурированной учебной, учебно-методической информации электронное издание содержит и тестовые задания, что делает их пригодными для любой формы образования.

Процесс формирования и доставки цифровой информации в образовательной системе от одного субъекта к другому в процессе их отношений с использованием информационных технологий по каналам цифровой коммуникации можно рассматривать в терминах цифровых бизнес-сервисов.

Сервис — это способ передачи ценности заказчику путем способствования получения определенных требуемых результатов, которые заказчик хочет обрести без личного участия и риска [4].

Цифровой сервис предполагает, что такой способ предоставления ценности заказчику основан на применении информационных технологий с привлечением продуктов цифровых коммуникаций. Следовательно, цифровой сервис — это система передачи определенных ценностей заказчику, которые он получает в результате использования цифровых технологий без личного участия и сопутствующих рисков.

Цифровой сервис в общем виде представляет собой совокупность процессов или функций, процессов управления, информационных систем, инфраструктуры и персонала организации. Для заказчика же сервис представляет собой «черный ящик», содержимое которого не раскрывается.

Рекомендует рассматривать три типа цифровых сервисов:

- ◆ основной цифровой сервис, предоставляющий основные результаты, необходимые заказчику;
- ◆ вспомогательный цифровой сервис, который требуется для предоставления основного цифрового сервиса. Такой цифровой сервис не всегда «виден» заказчику и не предоставляется в качестве самостоятельного сервиса;
- ◆ дополняющий цифровой сервис, делающий более привлекательным для заказчика основной цифровой сервис и мотивирующий к его использованию. При помощи дополняющих цифровых сервисов обеспечивается конкурентное преимущество на рынках.

Трансформация образовательной организации на основе цифровой экономики эффективно реализуется посредством архитектурного подхода. Обобщенная модель процесса трансформации архитектуры ВУЗа обычно включает три шага. На первом шаге производится оценка текущей ситуации. Производится

моделирование текущего состояния архитектуры образовательной организации. Шаг особенно важен, если ранее предприятие не использовало ни архитектурный, ни сервисный подходы. При помощи специальных инструментов и нотаций на основе подходов производится описание текущей архитектуры ВУЗа.

Следующим шагом может выполняться описание целевого состояния архитектуры организации, причем целевая архитектура проектируется сервисно-ориентированной. Проектируются сервисы, которые ВУЗ предоставляет внешним и внутренним субъектам.

В отдельных случаях проектирование целевой архитектуры или отдельных цифровых экономик может выполняться в самом начале архитектурного процесса.

Третьим шагом обычно формируется план действий по достижению целевого состояния архитектуры ВУЗа.

При необходимости проектируются промежуточные состояния архитектуры ВУЗа. В таком случае переход от текущего к целевому состоянию выполняется в несколько этапов. Это позволяет осуществить более опосредованный переход, что актуально для крупных учебных заведений или в случае серьезной трансформации ВУЗа.

Для верхнеуровневого моделирования и проектирования сервисно-ориентированной цифровой экономики может использоваться компонентная модель. Компонентная модель позволяет на одном листе отразить деятельность предприятия в виде комплекса слабосвязанных компонентов.

Указанная модель основана на понятии «компонента»: системы координированных видов деятельности, поддерживаемых «... соответствующими информационными системами, бизнес-процессами, организационной структурой и другими ресурсами ...» [2].

Компонентная модель представляет собой таблицу, столбцами которой могут быть этапы цепочки создания ценности, а строками — уровни деятельности ВУЗа. При этом каждый компонент может быть детализирован. Как правило, при детализации компонента отражают Бизнес-цель, Активности, Ресурсы и Бизнес-сервисы.

На основе модели архитектуры цифровой услуги, которая, например, может быть построена в нотации ArchiMate, можно провести расчет стоимости сервиса. Стоимость использования может быть рассчитана по затратам на каждый сервис за период. Для расчета может быть использована методика «Совокупная стоимость владения» (Total cost of ownership — TCO). Ме-

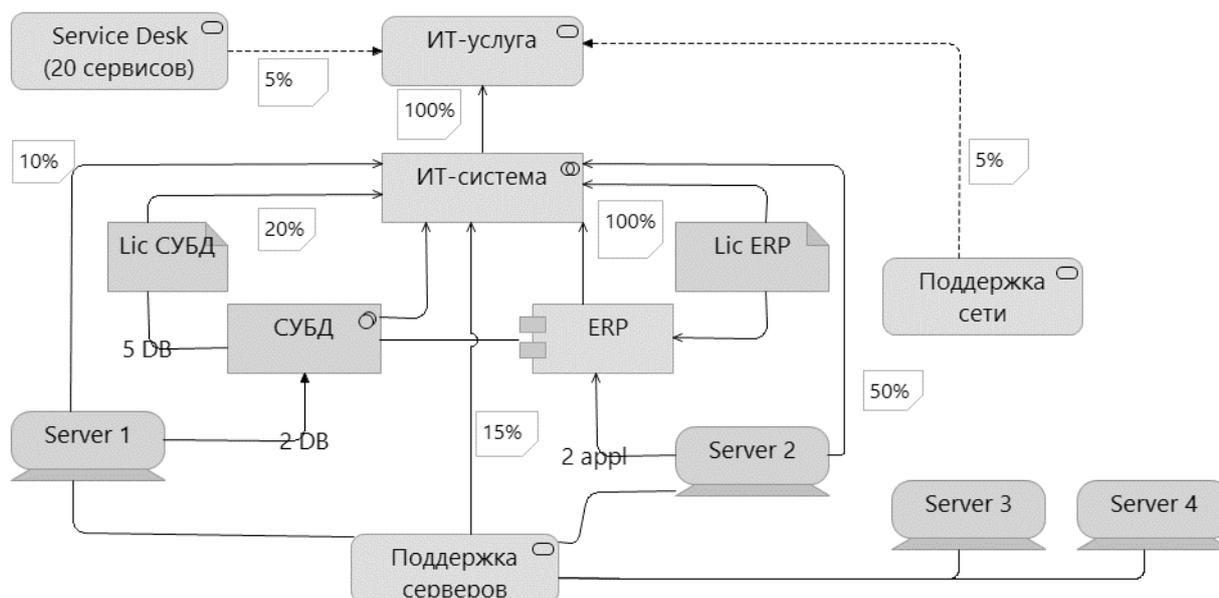


Рис. 1. Визуализация CFM цифровой экономической системы ВУЗа

тодику можно использовать при вычислении расходов на информационную систему (и не ограничиваясь системами), определяемых сообразно всем этапам жизненного цикла.

Рассмотрим сервисно-финансовую модель (CFM) цифровой экономической системы ВУЗа по оказанию некой образовательной услуги. CFM позволяет визуализировать модель для учета операционных затрат (ОРЕХ) и капитальных затрат (CAPEX), что позволит сформировать TCO (Совокупную стоимость владения) ИТ-активами (информационно-техническими активами) в учебном заведении.

Пример визуализации CFM, выполненный при помощи нотации ArchiMate, приведен на следующем рисунке 1.

При формировании сервисно-ресурсных моделей также требуется выполнить некоторый дополнительный объем работ:

- ◆ разработать требования к данным. Данная задача направлена на формализацию требований к данным, необходимым для построения имитационной модели цифровой экономической системы ВУЗа;
- ◆ разработать рекомендации по процессу формирования стоимости цифровых сервисов. Данная задача направлена на разработку рекомендаций по последовательности действий, необходимых для расчета стоимости сервисов. Для предлагаемых процессов будут определены необходимые

роли, процедуры, сроки запуска и завершения, триггеры запуска процедур процессов, подготовлено краткое описание процессов.

Для оценки цифровых сервисов и их соответствия поставленным целям, для формирования показателей имитационной модели могут использоваться различные критерии, определяемые путем выбора:

- ◆ функциональных показателей (функциональной пригодности, корректности, способности к взаимодействию, защищенности, согласованности и др.);
- ◆ надежности (завершенности, устойчивости к просчетам и накладкам, восстанавливаемости, доступности и др.);
- ◆ эффективности (временной эффективности, адекватного использования различных ресурсов и др.);
- ◆ практичности (понятности; простоты применения, изучаемости, привлекательности и др.);
- ◆ «сопровождаемости» (анализируемости, изменяемости, стабильности, тестируемости и др.);
- ◆ мобильности (адаптируемости, простоты изменений, замещаемости и др.).

Цифровые сервисы образовательной организации должны соответствовать как целям организации, так и установленным целям предоставления самих сервисов.

Для этого осуществляется управление уровнем предоставления цифровых сервисов, состоящее из следующих задач [3]:

- ◆ обеспечение и улучшение коммуникаций с внутренними и внешними заказчиками цифровых сервисов;
- ◆ определение, документирование, согласование, осуществление мониторинга, подготовка отчетности и проведение оценки предоставляемых цифровых сервисов;
- ◆ обеспечение наличия конкретики в целях и измеряемости параметров этих целей для всех цифровых сервисов;
- ◆ осуществление мониторинга и повышение удовлетворенности заказчика качеством цифровых сервисов;
- ◆ обеспечение ясности и недвусмысленности ожиданий по отношению уровней предоставления цифровых сервисов;
- ◆ обеспечение внедрения проактивных улучшений в случаях, когда это оправдано и рационально.

Требуемый уровень достигается реализацией ИТ-процессов, обеспечивающих эксплуатацию.

ИТ-процессы управления цифровыми сервисами описаны в ряде документов, один из которых — COBIT 5 (иными словами — Control Objectives for Information and Related Technologies). COBIT 5 состоит из пакета открытой документации, включая международные и национальные стандарты и предписания в сфере управления ИТ, аудита и ИТ-безопасности.

В пакете основное внимание уделяется процессам руководства и процессам управления, которые отличаются по следующим показателям [1]:

- ◆ руководством обосновывается убеждение в возможности достижения целей и задач предприятия, основанное на сбалансированной оценке потребностей заинтересованных сторон, преобладающих условиях и возможных вариантах; на определении направлений развития путем приоритизации и принятия решений; на постоянном мониторинге соответствия действительной продуктивности и степени выполнения требований, соответствующих установкам и целям предприятия;
- ◆ управлением обеспечивается планирование, построение, выполнение и отслеживание процессов функционирования предприятия согласно направлениям, заданным органами руководства в целях достижения задач, стоящих перед предприятием.

Преимущество COBIT 5 заключается в том, что он содержит эталонную модель процессов руководства и управления. В данную модель включены все свя-

занные с ИТ процессы организации. Подчеркивается важность создания единой формы функционирования и общего языка для всех структур образовательных кластеров, которые в той или иной степени связаны с ИТ.

Эталонная модель процессов COBIT 5 содержит два домена — Руководство и Управление, причем домен Управление включает четыре суб-домена. Каждый домен и суб-домен описывают несколько процессов, которые сгруппированы по принципу области деятельности с точки зрения ИТ на предприятии.

Для исследования может быть взята группа процессов домена «Предоставление, обслуживание и поддержка».

В различных изданиях ITIL приводятся процессы управления цифровыми сервисами.

Данная концепция развития сервисов цифровой экономики в высшем образовании подразумевает широкое использование цифрового имитационного моделирования.

Имитационное моделирование — это частный случай математического моделирования. Метод имитационного моделирования позволяет формировать модели для описания процессов так, как они проходили бы в действительности.

Фактически, изучаемая система заменяется моделью, которая с достаточной точностью описывает реальную систему. Модель позволяет проводить эксперименты, причем на результаты будет влиять случайный характер процессов. Логико-математическое описание объекта и проводимые на его основе компьютерные эксперименты позволяют сформировать необходимый объем статистических данных.

В имитационном моделировании выделяются несколько основных подходов, отличающихся:

- ◆ дискретно-событийным моделированием (начало 60-х годов), абстрагирующимся от неизменности событий и рассматривающим лишь ключевые события системы: ожидание, обработка, движение и т.п. В основе лежит концепция заявок, ресурсов и потоковых диаграмм. Заявки — это пассивные объекты (люди, детали, документы, ...), которые перемещаются в потоковых диаграммах (обрабатываются, стоят в очередях, ...). Как правило, дискретно-событийное моделирование используется для генерации производственных процессов;
- ◆ системной динамикой (конец 50-х годов), предполагающей организацию диаграмм причинных

связей и влияния одних показателей на другие с течением времени. Опираясь на диаграммы, формируется модель, которая в дальнейшем используется для компьютерных экспериментов. Системная динамика чаще всего применяется для моделирования бизнес-процессов, развития городов, моделирования производства и др.;

- ◆ агентное моделирование описывает реальность как взаимодействие агентов (людей, организаций и т.п.), причем агенты и среда могут воздействовать друг на друга, а последовательность взаимодействий может быть случайной. Агент обладает автономным поведением, способностью выполнять активности и принимать решения на основании определенных правил.

В качестве основного назначения имитационной модели применительно к управлению цифровыми сервисами можно выделить:

- ◆ формирование сценариев изменения совокупной стоимости владения в зависимости от корректировки затрат;
- ◆ анализ разработанных сценариев;
- ◆ визуализация сценариев.

На основе выбранных показателей уровня услуг, на основе архитектуры услуги и обеспечивающих ИТ-процессов может быть построена имитационная модель расчета стоимости сервисов. Возможно, целесообразнее использовать уже готовую имитационную модель по ИТ-инфраструктуре, дополнить ее необходимыми параметрами и решить оптимизационные задачи

на основе ряда критериев. Вероятно, для построения модели целесообразно использовать среду AnyLogic, используемую исследователями.

AnyLogic — это программное обеспечение для имитационного моделирования, поддерживающее системную динамику, дискретно-событийное и агентное моделирование. AnyLogic содержит графический язык моделирования, а также позволяет расширять модели с помощью языка Java.

Разработчик ПО, The AnyLogic Company — одна из ведущих компаний в области инструментов и бизнес-приложений имитационного моделирования в мире и абсолютный лидер в России.

## ВЫВОДЫ

Для настоящих временных реалий свойственно положение, при котором от цифровой экономики зависит очень многое, например, принципиально новая парадигма управления основывается на применении информационных технологий, которые, не только повышают эффективность экономических процессов ВУЗа, но и создают значимую новую управленческую реальность, когда организация все больше обретает признаки «виртуальности»; когда создаются принципиально новые организационные структуры управления — гибкие и адаптивные, в которых большинство управленческих процессов при использовании различных цифровых платформ и цифровых сервисов перемещается в виртуальное, цифровое пространство.

## ЛИТЕРАТУРА

1. COBIT 5: Бизнес-модель по руководству и управлению ИТ на предприятии / пер. Московским подразделением ISACA, 2012. — 94 с.
2. G. Pohle, P. Korsten, S. Ramamurthy. Component Business Models: Making Specialization Real. IBM Global Services, 2005. — 19 с.
3. ITIL Service Design («Проектирование сервиса»), ISBN978-0-11-331047-0.
4. ITIL Service Strategy («Стратегия сервиса»), ISBN978-0-11-331045-6.

© Родионцев Николай Никитович ( nic\_rodionsev@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВЕРИФИКАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОЦЕНКИ ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ОТКАЗОВ ИЗДЕЛИЙ (DFMEA), С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РУССКОЯЗЫЧНЫХ ЛЕКСИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ

VERIFICATION OF REQUIREMENTS,  
PROVIDED AS A RESULT  
OF THE DFMEA ASSESSMENT, USING  
RUSSIAN-LANGUAGE LEXICAL  
INDICATORS

**S. Smirnov**

*Summary.* The paper considers the issue of verifying the quality of the mitigation measures description, provided as result of the FMEA assessment. The FMEA method, as a special case of the risk assessment problem, is based on initial data with a high degree of subjectivity, to reduce the impact of which the author suggests using the developed risk identification method with further analysis of the quality of the description of possible product requirements developed as a result of DFMEA. The lexical indicators used to assess the quality of the documentation obtained during the implementation of DFMEA are listed.

*Keywords:* FMEA, DFMEA, requirements management, requirements quality.

**Смирнов Сергей Павлович**

Аспирант, Российский технологический университет МИРЭА; РМР, Руководитель департамента управления проектами, ПАО «Вымпелком», г. Москва  
smirnov.s.p1@edu.mirea.ru, spvert@mail.ru

*Аннотация.* В работе рассмотрен вопрос верификации качества описания мер по митигации (снижению) влияния отказов, получаемых в результате реализации метода оценки видов и последствий отказов сложных технических систем (FMEA). Метод FMEA, как частный случай задачи оценки рисков, основывается на исходных данных с высокой степенью субъективности, для снижения влияния которой автор предлагает использовать разработанный метод идентификации рисков с дальнейшим анализом качества описания возможных требований к изделию, разработанных в результате DFMEA. Перечислены лексические индикаторы, применимые для оценки качества полученной при выполнении DFMEA документации.

*Ключевые слова:* FMEA, DFMEA, качество требований, управление требованиями.

## Введение

Анализ видов и последствий потенциальных отказов (Failure Modes and Effects Analysis — FMEA) — это один из значимых инструментов управления качеством изделий. При рассмотрении возможных проблем при эксплуатации продукции, преимущественно, рассматривается подмножество D-FMEA (Design- или Device-FMEA) — процесс, сфокусированный на периоде эксплуатации производимого устройства, включая прогностический анализ возможных отказов, их причин и рекомендаций по предотвращению отказов.

В ранее выполненной автором работе [1] отмечено, что базовая реализация FMEA имеет те же недостатки, которые существуют и для процессов управления рисками [2,3] в проектах по созданию систем и изделий: результаты применения метода не являются объективными и порождают те же требования к верификации результатов, что и при управлении рисками в общем.

В случае DFMEA, является интересной рассмотренная в [1] гипотеза о возможности применения к оценке качества описания мер по митигации рисков критериев, схожих с применяемыми для определения качества требований к системам. Действительно, меры по снижению негативного влияния риска, в общем смысле, являются требованиями к системе и должны соответствовать критериям качества, предъявляемым к требованиям согласно рекомендациям системной инженерии.

В работе [33] представлен разработанный инструмент автоматизации идентификации рисков, который, путем автоматизации процесса, направлен на снижение степени субъективности результатов идентификации рисков.

Настоящая статья представляет результаты развития работ [1,33], где были представлены описания метода, алгоритма и практической реализации инструмента

для автоматизации идентификации рисков. В рамках обсуждения результатов представлены характеристики, определения, рассмотрены признаки идентифицированных типов и примеров лексических индикаторов, применимых для верификации описаний мер митигации, полученных в результате исполнения процесса DFMEA.

### Описание проблемы

В руководстве по написанию требований, подготовленном Международным советом по системной инженерии (INCOSE) [8] в центре внимания находится формулирование требований, т.е. однозначное и точное выражение обнаруженных требований. Требования формулируются на основе проведенного анализа информации об объекте, нужд и потребностей заинтересованных сторон, нормативных документов. То есть требования определяют — что хотят получить от системы заинтересованные стороны и какими свойствами должно обладать создаваемое изделие.

При формулировании требований ориентируются в первую очередь на естественный язык коммуникаций. В силу исторически сложившихся обстоятельств существует несколько проблем:

- ◆ в отечественной практике отсутствуют рекомендации по документированию требований, создающие представления «как хорошо» и «как плохо» с той же точностью, которая определяется сутью понятия «требование». Например, известный ГОСТ 34 представляет описание формата документирования, но не предъявляет требования к используемым формулировкам;
- ◆ описанные в литературе методы, критерии, признаки ориентированы на англоязычные тексты (что также отмечено в [4]) и их применение «в лоб» невозможно.

Целью данной работы является попытка идентифицировать (в т.ч. предложить русскоязычные, где существуют англоязычные), систематизировать критерии и дать рекомендации по написанию и верификации требований на русском языке, с учетом положения стандартов и наработок зарубежных авторов. В контексте рекомендаций по формулировке требований предполагается, что разработка метода верификации требований однозначно определяет набор критериев «как не надо» писать требования, а также описывает лучшие практики формулировок. При этом предполагается использование строго детерминированных алгоритмов — рассмотрение возможности применения нечеткой логики, нечетких алгоритмов и методов, а также сравнения с ними — не является предметом настоящей работы.

### Подходы и материалы

В качестве основополагающих в данной работе использованы следующие источники:

- ◆ книга «Инженерия требований» Э. Халл [7];
- ◆ руководство по написанию требований INCOSE [8];
- ◆ международный стандарт ISO/IEC/29148 [9];

В качестве дополнительных источников для выявления рекомендаций для англоязычной литературы использованы работы [10–29] [32].

Для анализа функциональных возможностей инструментов оценки качества требований использованы инструменты, представленные в [17] [32]. Для них выявлены использованы критерии качества и применяемые индикаторы их достижения.

### Результаты

Анализ функциональных возможностей инструмента оценки качества требований, описанного в [17] показал, что инструмент ориентирован на анализ соответствия структуры описания требования заложенному шаблону. Качество требования определяется по наличию всех индикаторов:

- ◆ наличие уникального идентификатора требования;
- ◆ наличия описания требования;
- ◆ наличия описания ценности для потребителя;
- ◆ наличия описания верификации результата;
- ◆ наличие ссылки на стандарт;
- ◆ наличие ссылки на аналогичное требование в другом продукте.

Анализ самих формулировок и определение качественной или некачественной формулировки не производится. В самой работе, при этом, в качестве примера формулировки требования приводится «The control and communication elements once dragged topology created using connection and saved as scenario file. The file once saved should be possible to load», что, согласно рекомендациям по написанию требований INCOSE [8], является как минимум двумя разными требованиями: первое описывает из чего собирается файл конфигурации для записи, второе — то что файл конфигурации можно загружать.

Недостатком инструмента является фиксированная структура представления требований, не позволяющая, например, адаптировать инструмент к применению для описания требований по ГОСТ 34.

В противоположность описанному инструменту, ARM Tool [32] [35], представляющий из себя реализацию

Таблица 1. Лексические индикаторы качества англоязычного требования (из инструмента NASA [32])

IMPERATIVE	CONTINUANCE	DIRECTIVE	OPTION	WEAKPHRASES	INCOMPLETES
shall must is required to are applicable are to responsible for will should	below: as follows: following: listed: in particular: support: and :	e.g. i.e. For example Figure Table Note:	can may Optionally	adequate as appropriate be able to be capable of capability of capability to effective as required normal provide for timely easy to	TBD TBS TBE TBC TBR not defined not determined but not limited to as a minimum

реверс-инжиниринга использовавшегося в NASA инструмента анализа требований, не производит анализ структуры документа, но сфокусирован на анализе текста и поиске в нем ключевых слов, характеризующих позитивные и негативные индикаторы (таблица 1):

Недостатками инструмента являются

- ◆ отсутствие анализа структуры документа, описывающего требования;
- ◆ ограниченный набор терминов в словаре;
- ◆ невозможность применения «в лоб» для русскоязычных текстов требований.

После изучения литературы, было отмечено, что конкретный термин «качество требований» не имеет четкого определения. В источниках указано, что требования должны обладать необходимыми характеристиками [8]:

#### Необходимость (Necessity)

*Определение из ISO/IEC/IEEE29148:* Требование должно определять существенную способность, характеристику, ограничение и/или показатель качества. Если требование будет проигнорировано или удалено, то при определении способности или характеристики системы возникнут недостатки, которые не смогут быть полностью устранены за счет реализации других требований. Необходимое требование применимо в настоящее время и в последующем отказ от него не предполагается. Требования с ограничениями по срокам применимости имеют четко описанные ограничения применения.

*Метод автоматизированной верификации:* отсутствует. На текущий момент, не существует строгих методов определения необходимости того или иного требования для реализации системы. Отчасти, необходимость требования может определяться историей

DFMEA-анализов по ранее производимым устройствам или ныне существующим аналогам изделий, в том числе конкурирующих производителей. Инструмент [33] предполагает автоматическое назначение мер митигации (требований к изделию для обеспечения его безопасного и надежного функционирования) по известным аналогичным случаям.

*Лексические индикаторы:* отсутствуют

#### Соразмерность (Appropriate)

*Определение из ISO/IEC/IEEE29148:* Конкретная цель и степень детализации требования должны соответствовать уровню структуры объекта, к которому это требование предъявляется (уровню абстракции). При этом отмечается, что следует избегать ненужных ограничений на архитектуру или проектные решения, и добиваться при этом максимально возможной независимости от способов реализации.

*Метод автоматизированной верификации:* в работе [13] для определения соразмерности предлагается использовать нумерацию, так как это позволяет организовать (сгруппировать) требования в иерархию. Детерминированный алгоритм может обнаружить иерархию вида «1., 1.1, 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3», однако, проанализировать находится ли требование «на своём месте» не сможет. Рекомендуется отслеживать описание способов реализации требования, так как требование не должно этого содержать, например, с использованием слов «путем, используя, с использованием, через». Злоупотребление союзами «когда, который, если, тогда» может указывать на избыток деталей в способе указания потока управления процессом или функцией.

*Лексические индикаторы:* «путем, используя, с использованием, через», «когда, который, если, тогда».

**Однозначность  
(Unambiguous)**

*Определение из ISO/IEC/IEEE29148:* Формулировка требования должна полностью исключать возможность неоднозначного толкования. Требование должно быть изложено простым, легким для понимания языком.

*Метод автоматизированной верификации:* Приведенные в литературе рекомендации по определению является ли требование однозначным, рассматривают поиск негативных лексических индикаторов, которые машина в состоянии выделить и сообщить о том, что необходимо скорректировать требование. В качестве таковых предложены:

- ◆ использование нескольких глаголов в неопределенной форме — подобные требования, скорее всего, нуждаются в разделении на несколько требований;
- ◆ использование личных и относительных местоимений «она, они, их, который, что»;
- ◆ размывание конкретных характеристик: «насколько это возможно; как можно меньше; где возможно; как можно больше; если это необходимо; при необходимости; по мере необходимости; сообразно обстоятельствам; как требуется; в рамках целесообразного; если это осуществимо»
- ◆ использование «ленивчиков»: «и т.д., и прочие, и тому подобное»;
- ◆ использование неопределенных местоимений — «почти, любой, кто-нибудь, что-нибудь, мало, просто о, много, наиболее, много, несколько, немного, кто-то»;
- ◆ неточные (качественные, qualitative) термины:
  - ◆ Качество: хорошее, адекватное, эффективное и т.д.
  - ◆ Количество: достаточно, приблизительно и т.д.
  - ◆ Частота: почти всегда, как правило, и т.д.
  - ◆ Перечисление: несколько, которые должны быть определены, не ограничены и т.д.
  - ◆ Вероятность: возможно, может быть, обязательно.
  - ◆ Использование: адаптируемый, расширяемый, простой, знакомый, безопасный и т.д.

В качестве позитивных лексических индикаторов можно привести использование единиц измерения.

*Лексические индикаторы:* «она, они, их, который, что», «насколько это возможно; как можно меньше; где возможно; как можно больше; если это необходимо; при необходимости; по мере необходимости; сооб-

разно обстоятельствам; как требуется; в рамках целесообразного; если это осуществимо», «и т.д., и прочие, и тому подобное», «почти, любой, кто-нибудь, что-нибудь, мало, просто о, много, наиболее, много, несколько, немного, кто-то», «хорошее, адекватное, эффективное, достаточно, приблизительно, почти всегда, как правило, несколько, которые должны быть определены, не ограничены, возможно, может быть, обязательно, адаптируемый, расширяемый, простой, знакомый, безопасный».

**Полнота (Complete)**

*Определение из ISO/IEC/IEEE29148:* Формулировка требования должна исчерпывающе, исключая необходимость в дополнительной информации, определять способности, характеристики, ограничения, показатели качества, необходимые для удовлетворения потребности.

*Метод автоматизированной верификации:* Приведенные в литературе методы оценки полноты, в основном, базируются на оценке объема описания требования. Конкретных количественных характеристик, при этом, не приводится даже для англоязычного текста. Анализ лексических признаков показывает необходимость существования модального глагола в формулировке и рекомендацию избегать акронимов и сокращений (в связи с тем, что это может вызвать неоднозначность понимания).

*Лексические индикаторы:* «она, они, их, который, что», «насколько это возможно; как можно меньше; где возможно; как можно больше; если это необходимо; при необходимости; по мере необходимости; сообразно обстоятельствам; как требуется; в рамках целесообразного; если это осуществимо», «и т.д., и прочие, и тому подобное», «почти, любой, кто-нибудь, что-нибудь, мало, просто о, много, наиболее, много, несколько, немного, кто-то», «хорошее, адекватное, эффективное, достаточно, приблизительно, почти всегда, как правило, несколько, которые должны быть определены, не ограничены, возможно, может быть, обязательно, адаптируемый, расширяемый, простой, знакомый, безопасный».

**Единственность (Singular)**

*Определение из ISO/IEC/IEEE29148:* Требование должно определять единственное (уникальное) свойство, способность, характеристику, ограничение или показатель качества.

*Метод автоматизированной верификации:* В литературе приводятся рекомендации обращать внима-

ние на наличие соединительных союзов «и, или, ни, пока, но». Модальный глагол в формулировке требования должен быть единственный, в противном случае это свидетельствует о том, что в проверяемой формулировке находится не одно требование. Размер текста должен быть не слишком большим, противное является признаком избыточности. Также отмечается, что использование знаков пунктуации может свидетельствовать о том, что требование стоит разделить на два или более. Согласно источнику [8] наличие пояснений или причины возникновения противоречат тому, что должно содержаться в требовании по определению из ISO/IEC/IEEE29148. Отслеживать данный индикатор машина может с помощью таких слов как: «для того, чтобы», «так как», «позволяя таким образом»

*Лексические индикаторы:* «и, или, ни, пока, но», «для того, чтобы; так как; для».

#### Реализуемость (Feasible)

*Определение из ISO/IEC/IEEE29148:* Требование должно быть реализуемым с учетом имеющихся ограничений на системные решения (например, стоимость, график работ, технические и технологические возможности, правовые и нормативные ограничения) и с приемлемым уровнем риска.

*Метод автоматизированной верификации:* по приведенным в литературе рекомендациям, не следует употреблять абсолютные обороты, так как их нельзя обеспечить. В данной работе такие слова будут обозначаться, как наречия времени. Автоматизированно возможно отследить данную характеристику, по таким словам, как: «все», «всегда», «никогда».

*Лексические индикаторы:* «все», «всегда», «никогда»

#### Верифицируемость (Verifiable)

*Определение из ISO/IEC/IEEE29148:* Требование должно быть структурировано и сформулировано таким образом, чтобы можно было получить приемлемые для заказчика доказательства реализации требования (верифицировать требование) на уровне, предусмотренном для подобных требований. Верифицируемость улучшается, если требование содержит измеримые количественные характеристики.

*Метод автоматизированной верификации:* на основании лексических индикаторов — отсутствует.

*Лексические индикаторы:* нет.

#### Правильность (Correct)

*Определение из ISO/IEC/IEEE29148:* Формулировка требования должна давать точное представление об исходной потребности.

*Метод автоматизированной верификации:* на основании лексических индикаторов — отсутствует. Возможны частные комплексные решения, основанные на анализе дерева требований — если рассматриваемое требование, все потомки и-или родительские требования имеют прочие признаки «хороших», то существует существенная вероятность того, что требование сформулировано корректно.

*Лексические индикаторы:* нет.

#### Соответствие нормам (Conforming)

*Определение из ISO/IEC/IEEE29148:* Отдельные элементы формулировки требования должны, при необходимости, соответствовать принятым стандартам, шаблонам и стилистическим нормам написания требований.

*Метод автоматизированной верификации:* в литературе описывается рекомендация по использованию определенных порядков слов для предложений формулировок. Однако данная рекомендация, применимая для детерминированной последовательности слов в английском языке, не может быть применена для русскоязычных текстов из-за существенно большей гибкости правил построения предложений в русском языке.

*Лексические индикаторы:* нет.

#### Выводы

Одной из существенных проблем, выявленных в настоящей работе, является недостаточный объем или отсутствие работ по анализу качества требований, созданных или адаптированных под русскоязычные тексты. В литературе не описаны русскоязычные корпуса текстов, пригодные для использования в качестве словарей лексических индикаторов качества требований. Предлагаемые в литературе шаблоны (паттерны) ориентированы на применение определенного английского языком порядка слов, что неприменимо для русского языка.

Разработанный автором инструмент для автоматизации идентификации рисков [33] предоставляет настраиваемую структуру представления информации о риске, что позволяет применять его для целей DFMEA. Представляется целесообразным расширение функциональности инструмента в части анализа вводи-

мого текста и наличие признаков сильных или слабых формулировок мер митигации отказов для устройств и изделий.

Описанные в литературе методы нацелены на выявление признаков «как не надо» и слабо сфокусированы на поиске положительных формулировок.

Выявленные лексические индикаторы могут быть как негативными — слово не должно употребляться, так и позитивными — употребление слова выглядит как признак хорошего требования.

Для выявления лексических индикаторов требуется лемматизация (приведение слова к его базовой форме,

без учета падежей, чисел, спряжений, ...), чтобы иметь возможность работать со словарем приемлемого размера.

Не для всех характеристик качества требований возможно автоматизировать поиск соответствующих признаков.

Термин «качество требований» в литературе формально не определен, существует лишь описание набора критериев, которым должно соответствовать качественное требование. Представляется целесообразным разработать математическую модель требования и целевую характеристическую функцию качества требования.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Смирнов С.П. (2022) О возможности оценки достоверности результатов оценки видов и последствий отказов (FMEA) сложных технических систем на основе интеллектуального анализа коммуникаций, осуществленных в процессе идентификации рисков. Экология и техносферная безопасность: доклады I всерос. молодёжной науч.-практич. конференции под общ. ред. В.М. Панарина. — Тула: Инновационные технологии, 2022.
- A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide), 6th edition. 2017 // Newton-square, PA: Project management institute, 2017.
- The standart for project management. 2017. // Newton-square, PA: Project management institute, 2017.
- Гайдамака К.И. (2021) Метод оценки качества технических требований на основе частеречных шаблонов и метрического классификатора // Информатизация и связь. 2021. № 8. С. 80–84.
- Белоногова А.Д., Огнянович П.А., Гайдамака К.И. (2021) Применение методов машинного обучения для обеспечения качества спецификаций требований // International Journal of Open Information Technologies. 2021. Т. 9. № 8. С. 30–35.
- Batrovrin V., Gaydamaka K. (2019) AUTOMATED SYSTEM FOR REQUIREMENTS ASSESSMENT // В сборнике: Proceedings — 2019 Actual Problems of Systems and Software Engineering, APSSE2019. 2019. С. 58–62.
- Халл Э., Джексон К., Дик Дж. Инженерия требований / пер. с англ. А. Снастина; под ред. В.К. Батоврина. — М.: ДМК Пресс, 2017. — 218 с.: ил.
- (INCOSE), «Руководство по написанию требований», 2017.
- ISO/IEC/IEEE29148 «Системная и программная инженерия. Управление жизненным циклом. Инженерия требований».
- Pradip Kar, Michelle Bailey, Characteristics of Good Requirements, Minneapolis, Minnesota, 1996.
- G. Genova, J.M. Fuentes, J. Llorens, O. Hurtado, V. Moreno, «A framework to measure and improve the quality of textual requirements» Springer-Verlag, 2011.
- M.J. Ali, «Metrics for Requirements Engineering» 2006.
- George Koelsch, Requirements writing for systems engineering, APress 2016.
- Silva, Alberto. (2014). Quality of requirements specifications. 1021–1022. DOI:10.1145/2554850.2555115.
- Ramphal, Rohith Roopnarain. (2011). A QUALITY FRAMEWORK FOR SERVICES IN SHARED SERVICES ENVIRONMENTS. 8. 223–238.
- Mund, Jakob & Femmer, Henning & Méndez Fernández, Daniel & Eckhardt, Jonas. (2017). Does Quality of Requirements Specifications matter? Combined Results of Two Empirical Studies.
- Gopalakrishnan, Abhilash. (2017). Quiver-Requirement Quality Analyzer-A Method and Tool to Analyze Software Requirement Quality.
- Abhilash G, Ashoka Shyamaprasad, Abhinna Biswal, "Requirement Analysis in a Substation". IEEE, 2010.
- IEEE, "IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology". IEEE, 2002.
- Karl T. Ulrich, Steven Eppinger, "Product Design and Development". MIT Press, ISBN-13:978-0073404776, July 2011.
- James Kalbach, "Mapping Experiences-A Complete Guide to Creating Value through Journeys, Blueprints, and Diagrams", OReilly Media, ISBN-13:978-1-4919-2353-5, April 2016.
- John Musa, "Software Reliability Engineering: More Reliable Software- Faster and Cheaper", Tata McGraw Hill, July 2005
- Karl E Weigners, "Software Requirements". Microsoft Press, ISBN-13:978-0735679665, August 2013.
- Barry W. Boehm, "Guidelines for Verifying and Validating Software Requirements and Design Specifications", 1979.
- ISO/IEC TR24766:2009-Information technology — Systems and soft-ware engineering — Guide for requirements engineering tool capabilities.
- Roger Pressman, "Software Engineering: A Practitioner's Approach", 1Jun 2004.
- Juan M. Carrillo de Gea, Joaquin Nicols, Jos L. Fernndez Alemn, Ambrosio Toval, Christof Ebert, and Aurora Vizcano, "Requirements Engineering Tools", IEEE Software, July 2011.

28. Juan M. Carrillo de Gea A, Joaquin Nicols A, Jos L. Fernandez Alemln A, Ambrosio Toval A, Christof Ebert B, Aurora Vizcano C, "Requirementsengineering tools: Capabilities, survey and assessment", Elsevier -Information and Software Technology, April 2012.
29. "Matthias Weber, Joachim Weiber, Requirements Engineering in Au-tomotive Development: Experiences and Challenges", IEEE Software,2003.
30. Source Code for Quiver Analyzer [сайт] <https://github.com/Abh4git/Quiver> Дата визита 28.10.22
31. Scenario Editor and Visualizer [сайт] <https://github.com/Abh4git/ScenarioEditor> Дата визита 28.10.22
32. "Nathan Carlson, Phil Laplante The NASA automated requirementsmeasurement tool: a reconstruction", Innovations in Systems and Soft-ware Engineering, June 2014.
33. Смирнов С.П. (2022) Автоматизация идентификации рисков. Метод улучшения результатов применения методики оценки видов и последствий отказов (FMEA) при создании и эксплуатации сложных технических систем. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия "Естественные и Технические науки", 2022 № 9.
34. ISO/IEC/IEEE24765 Systems and Software engineering — vocabulary.
35. Automated Requirements Measurement Tool [сайт] <https://arm.laplante.io/> Дата визита 28.10.22

© Смирнов Сергей Павлович ( smirnov.sp1@edu.mirea.ru, spvert@mail.ru ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



МИРЭА — Российский технологический университет

# ДОСТАТОЧНЫЕ УСЛОВИЯ НЕЭКВИВАЛЕНТНОСТИ ГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ В ТЕРМИНАХ КОМПЬЮТЕРНОЙ АЛГЕБРЫ

**Старцев Сергей Яковлевич**

Старший научный сотрудник, Институт  
математики с ВЦ УФИЦ РАН, Уфа  
intsys@internet.ru

## SUFFICIENT CONDITIONS FOR NON-EQUIVALENCE OF HYPERBOLIC EQUATIONS IN TERMS OF COMPUTER ALGEBRA

**S. Startsev**

*Summary.* This paper devoted to hyperbolic partial differential equations with special properties, which are satisfied, for example, by Darboux integrable equations (i. e., equations with nontrivial kernels of total derivatives by virtue of the equation). The equivalence problem of such equations is considered, that is, the question of whether one of the equations is related to the other by a point change of variables. We can associate an integer  $r \geq 0$  with any of the above equations. Since the integer  $r$  is preserved under point changes of variables, we can formulate a sufficient condition for the non-equivalence of the equations by using this number. We explain how a computer algebra system makes it easy for us to obtain a lower estimate for  $r$  and, in some cases, to find the exact value of  $r$  in a fully automatic mode. Using a Darboux integrable Moutard equation as an example, we demonstrate the efficiency and usefulness of this approach and show that the Moutard equation is not equivalent to any of the equations in a list of Darboux integrable equations.

*Keywords:* non-linear hyperbolic partial differential equations, Darboux integrability, equivalence problem, computer algebra.

*Аннотация.* Рассматриваются гиперболические уравнения в частных производных со специальными свойствами, которым удовлетворяют, например, интегрируемые по Дарбу уравнения (то есть уравнения с нетривиальными ядрами полных производных в силу уравнения). Обсуждается проблема эквивалентности для таких уравнений, то есть вопрос о том, связано ли одно из уравнений с другим с помощью точечных замен переменных. С каждым из уравнений указанного класса можно связать некоторое целое число  $r \geq 0$ , сохраняющееся при точечных заменах переменных, и сформулировать в терминах этой величины достаточное условие неэквивалентности уравнений. Показано, что с помощью систем аналитических вычислений нетрудно получить оценку снизу для  $r$ , а в некоторых случаях и найти точное значение  $r$  в полностью автоматическом режиме. На примере интегрируемого по Дарбу уравнения Мутара продемонстрирована эффективность и полезность этого подхода, и показано, что оно не эквивалентно ни одному из уравнений в одном из списков интегрируемых по Дарбу уравнений.

*Ключевые слова:* нелинейные гиперболические уравнения в частных производных, интегрируемость по Дарбу, проблема эквивалентности, компьютерная алгебра.

## Введение

Одним из классов математических моделей являются дифференциальные уравнения в частных производных вида

$$u_{xy} = F(x, y, u, u_x, u_y). \quad (1)$$

Простейшим классическим примером уравнения этого класса является волновое уравнение  $u_{tt} - u_{zz} = 0$ , которое заменой переменных  $t = x + y$ ,  $z = x - y$  приводится к виду (1) с  $F = 0$ .

Как известно,  $u = a(x) + b(y)$  является решением волнового уравнения  $u_{xy} = 0$  для любых функций  $a$  и  $b$ . Наличие явной формулы для решения, зависящей от двух произвольных функций (и, вообще говоря, их

производных), на самом деле является довольно редким свойством среди уравнений (1). Другим, хорошо известным специалистам, примером такого сорта является уравнение Луивилля  $u_{xy} = e^u$ : для любых функций  $a$  и  $b$  формула

$$u = \ln \left( \frac{a'(x)b'(y)}{(a(x) + b(y))^2} \right)$$

задает решение этого уравнения.

Таким образом, некоторые из уравнений (1) обладают особыми свойствами. Одной из математических задач является поиск или даже полное перечисление (классификация) уравнений (1), отличающихся от прочих теми или иными замечательными свойствами (ука-

занное в предыдущем абзаце дает нам пример одного из таких свойств). При этом, при обнаружении предположительно нового уравнения всегда возникает вопрос не сводится ли оно к какому-то из уже известных точеными заменами переменных

$$x = \xi(\tilde{x}), \quad y = \eta(\tilde{y}), \quad u = \lambda(\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{u}) \quad (2)$$

и перестановкой местами  $x$  и  $y$ . Ответ на этот вопрос не всегда очевиден даже при сравнении двух уравнений. При этом новые уравнения нужно сравнивать не с одним уравнением, а порой с достаточно длинным списком уже известных уравнений. Нельзя исключать, что похожие проблемы могут возникать и в каких-то более прикладных ситуациях — например, при проверке не содержится ли то или иное важное с практической точки зрения уравнение в справочнике наподобие [1]. Вопрос о сводимости уравнения с помощью преобразований (2) к какому-то наперед заданному уравнению (или списку уравнений) в дальнейшем мы будем называть проблемой эквивалентности.

В настоящей статье мы будем рассматривать вышеописанную проблему для тех из уравнений (1), для которых найдется функция  $g$ , зависящая от  $x, y, u$  и производных  $u$  по  $y$ , и удовлетворяющая соотношению

$$F_{u_y} = \frac{dg}{dx} \quad (3)$$

для любого решения соответствующего уравнения. Не любое уравнение (1) обладает таким свойством, но среди некоторых интересных с математической точки зрения классов уравнений оно достаточно распространено или даже должно выполняться в обязательном порядке.

Нетрудно проверить, что свойство (3) и порядок  $g$  (по есть порядок старшей из присутствующих в  $g$  производных<sup>1</sup>) сохраняются при заменах переменных (2). Порядок функции  $g$  для некоторых уравнений определяется из соотношения (3) неоднозначно. Но если взять минимальный из порядков  $g$ , то эта величина будет определена корректно и будет инвариантной относительно замен (2). В настоящей статье мы покажем, что указанную величину сравнительно нетрудно определить с привлечением систем аналитических вычислений (на примере системы аналитических вычислений Reduce) и на одном примере покажем, что эта величина как минимум иногда помогает быстро решить проблему эквивалентности.

Полные производные в силу уравнения и их ядра

<sup>1</sup> Если  $g$  не зависит от производных  $u$ , то ее порядок считается равным нулю.

При работе с соотношениями, выполняющимися для любого решения уравнения (наподобие соотношения (3)), мы можем исключить с помощью уравнения (1) и его дифференциальных следствий все смешанные производные  $u$ . Поэтому в таких ситуациях мы можем считать, что все выражения и функции зависят только от  $x, y$  и конечного числа переменных  $u_0 := u, u_i := \partial^i u / \partial x^i, \bar{u}_j := \partial^j u / \partial y^j$ . Если в обычных формулах для полных производных исключить все смешанные производные как указано выше, то мы получим полные производные  $D_x$  и  $D_y$  в силу уравнения (1). Для любой зависящей от вышеуказанных переменных функции  $g$  эти полные производные задаются формулами

$$D_x(g) = \frac{\partial g}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial u} u_1 + \sum_{i=1}^{\infty} \left( \frac{\partial g}{\partial u_i} u_{i+1} + \frac{\partial g}{\partial \bar{u}_i} D_y^{i-1}(F) \right),$$

$$D_y(g) = \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial g}{\partial u} \bar{u}_1 + \sum_{i=1}^{\infty} \left( \frac{\partial g}{\partial \bar{u}_i} \bar{u}_{i+1} + \frac{\partial g}{\partial u_i} D_x^{i-1}(F) \right).$$

Что касается компьютерных вычислений, то на взгляд автора,  $D_x$  и  $D_y$  особенно легко задать в системе аналитических вычислений Reduce. Действительно, если в ней обозначить  $u_i$  через  $u(i)$  для  $i \geq 0$ , а через  $v(j)$  обозначить  $\bar{u}_j$  для  $j > 0$ , и затем записать  $F$  в этих обозначениях, то  $D_x$  и  $D_y$  будут задаваться следующим кодом:

```
operator u; u(i);
operator v; v(i);
rhs:= F;
for all i such that i>-1 let df(u(i), x)=u(i+1);
let df(u(0), y)=v(1);
for all i such that i>0 let df(v(i), y)=v(i+1);
let df(v(1), x)=rhs;
let df(u(1), y)=rhs;
for all i such that i>1 let df(v(i), x)=df(rhs, y, i-1);
for all i such that i>1 let df(u(i), y)=df(rhs, x, i-1);
```

После этого Reduce будет вычислять  $df(\text{expr}, x)$  и  $df(\text{expr}, y)$  по вышеприведенным формулам для  $D_x$  и  $D_y$  соответственно. С учетом введенных обозначений, равенство (3) с функцией  $g$ , имеющей порядок  $r$ , можно записать как

$$F_{u_y} = D_x(g(x, y, u, \bar{u}_1, \dots, \bar{u}_r)), \quad g_{\bar{u}_r} \neq 0. \quad (4)$$

Для некоторых уравнений вида (1) ядра  $D_x$  и  $D_y$  состоят не только из функций от  $y$  и  $x$  соответственно. Простейший пример — это уравнение  $u_{xy} = 0$ , для которого  $D_x(u_y) = 0$  и  $D_y(u_x) = 0$ . Чуть более сложный пример такого сорта дает нам упоминавшееся выше уравнение Лиувилля  $u_{xy} = e^u$ , у которого  $2u_{yy} + u_y^2 \in \ker D_x$  и  $2u_{xx} + u_x^2 \in \ker D_y$ .

Определение. Функция  $w(x, y, u, u_1, \dots, u_k), w_{u_k} \neq 0$ , называется  $x$ -интегралом порядка  $k$  для уравне-

ния (1), если  $D_y(w) = 0$ . Аналогично, функция  $\bar{w}(x, y, u, \bar{u}_1, \dots, \bar{u}_m)$ ,  $\bar{w}_{\bar{u}_m} \neq 0$ , называется  $y$ -интегралом порядка  $m$  для уравнения (1), если  $D_x(\bar{w}) = 0$ . Если уравнение обладает как  $x$ -интегралами, так и  $y$ -интегралами, то оно называется интегрируемым по Дарбу.

Если для уравнения (1) удастся найти функцию  $g$  порядка  $r$ , удовлетворяющую (4), то она может оказаться суммой  $y$ -интеграла и какой-то другой функции  $\hat{g}$ , также удовлетворяющей (4) и имеющей порядок меньше  $r$ . Поэтому для нахождения решения (4) с минимальным  $r$  важно убедиться, что (1) не допускает  $y$ -интегралов порядка ниже  $r+1$  (тогда ситуация, описанная в предыдущем предложении, будет невозможна — см. утверждение 1 ниже).

Убедиться в отсутствии  $y$ -интегралов ниже определенного порядка можно с помощью  $y$ -инвариантов Лапласа  $H_i$  уравнения (1). Они задаются рекуррентной формулой

$$H_{i+1} = 2H_i - D_x D_y(\ln(H_i)) - H_{i-1} \quad (5)$$

и первыми членами

$$H_0 = F_u + F_{u_x} F_{u_y} - D_x(F_{u_x}),$$

$$H_{-1} = F_u + F_{u_x} F_{u_y} - D_y(F_{u_y}).$$

В работе [2] было доказано, что уравнение (1) допускает  $y$ -интеграл порядка  $m$  только тогда, когда  $H_i$  является тождественным нулем для некоторого неотрицательного  $i < m$ . Формулы для  $x$ -инвариантов Лапласа  $K_i$  отличаются от вышеприведенных только тем, что надо в (5) заменить  $H$  на  $K$  и в качестве первых членов последовательности  $K_i$  взять  $K_{-1} = H_0$  и  $K_0 = H_{-1}$ . Для  $x$ -инвариантов Лапласа, верно аналогичное утверждение: уравнение (1) допускает  $x$ -интеграл порядка  $m$  только тогда, когда  $K_i$  является тождественным нулем для некоторого неотрицательного  $i < m$ . Инварианты Лапласа легко задать в Reduce, если дополнить приведенный выше код следующим:

```
a0:=df(rhs, u(1));
b0:=df(rhs, v(1));
c0:=df(rhs, u(0));
h0:=c0+a0*b0-df(a0, x);
k0:=c0+a0*b0-df(b0, y);
operator h; h(i);
operator k; k(i);
let h(-1)=k0;
let h(0)=h0;
let k(-1)=h0;
let k(0)=k0;
```

```
for all i such that i>0 let h(i)=2*h(i-1)-df(log(h(i-1)), x,
y)-h(i-2);
for all i such that i>0 let k(i)=2*k(i-1)-df(log(k(i-1)), x, y)-
k(i-2);
```

С учетом вышеизложенного нетрудно доказать следующее утверждение, выполнение части условий которого легко проверить средствами Reduce.

Утверждение 1. Пусть для уравнения (1) найдется функция  $g$ , удовлетворяющая соотношению (4) и  $y$ -инварианты Лапласа  $H_i$  этого уравнения отличны от нуля для всех неотрицательных  $i < r$ . Тогда любая другая функция  $\hat{g}$ , такая что  $D_x(\hat{g}) = F_{u_y}$ , имеет порядок не ниже  $r$ .

Доказательство. Предположим противное — пусть  $\hat{g}$  имеет порядок ниже  $r$ . Тогда получаем, что

$$D_x(\hat{g}) = F_{u_y} = D_x(g),$$

то есть  $g - \hat{g}$  является  $y$ -интегралом порядка  $r$ . Но это противоречит предположение о неравенстве нулю  $H_i$  для всех неотрицательных  $i < r$ . Что и требовалось доказать.

В работе [3] также было доказано следующее утверждение.

Утверждение 2. Пусть для уравнения (1) найдется функция  $g$ , удовлетворяющая соотношению (4). Тогда  $h_i = 0$  для некоторого неотрицательного  $i \leq r$ , где  $h_i := (H_i)_{\bar{u}_{i+1}}$ .

Предположим дополнительно, что  $H_0 \neq 0$ , и обозначим через  $n$  минимальное отличное от нуля число, для которого  $h_n = 0$ . Если  $n > 1$ , то

$$F_{u_y} = D_x(\ln(H_{n-1}) - \ln(h_{n-1})). \quad (6)$$

Из этого утверждения видно, что с помощью инвариантов Лапласа мы можем убедиться не только в отсутствии у уравнения интегралов, но и оценить снизу величину  $r$  в (4) и даже в каких-то ситуациях найти  $g$  минимального порядка в автоматическом режиме (формула (6) дает нам  $g$  порядка  $n$ , в то время как из  $H_i \neq 0$  для  $i$  от 0 до  $n - 1$  следует, что у уравнения нет  $y$ -интегралов порядка ниже  $n + 1$ ).

Условие неэквивалентности и пример его применения

Прямым вычислением нетрудно проверить, что если для (1) выполнено (4), то для любого другого уравнения, которое можно получить из (1) преобразованием

ем (2), соотношение (4) также будет выполнено с тем же самым  $r$  (но, вообще говоря, с другой функцией  $g$ ). Поэтому очевидно, что верно следующее достаточное условие неэквивалентности уравнений.

Утверждение 3. Пусть для (1) выполнено (4) с минимальным возможным для этого уравнения  $r$ , а для уравнения

$$u_{xy} = C(x, y, u, u_x, u_y)$$

выполнено  $C_{u_y} = D_x(\gamma)$  с функцией  $\gamma$ , имеющий порядок меньше  $r$ . Тогда эти уравнения не могут быть связаны между собой преобразованием вида (2).

В качестве иллюстрации рассмотрим уравнение

$$u_{xy} = (x - y)e^u u_y - e^u. \quad (7)$$

С помощью Reduce мгновенно получаем, что  $H_0 H_1 \neq 0$  и  $H_2 = 0$ . Из этого следует, что у уравнения (7) нет интегралов порядка ниже 3, а формула (6) дает нам, что для него выполнено (4) с  $g = \ln(u_{yy} - u_y^2)$  (то есть порядок  $g$  является минимальным).

Это уравнение упоминалось, например, в [4] как одно из уравнений Мутара в контексте, позволяющем предположить, что это уравнение интегрируемо по Дарбу (возможно факт интегрируемости по Дарбу

уравнения (7) упоминался в каких-то из старых публикаций, но из-за их плохой доступности это трудно проверить). В работе [5] были фактически предъявлены  $x$ - и  $y$ -интегралы уравнения (7). Они задаются формулами

$$\begin{aligned} w &= u_x + (y - x)e^u, \\ \bar{w} &= D_y(\ln(u_{yy} - u_y^2)) - u_y \end{aligned} \quad (8)$$

и являются  $x$ - и  $y$ -интегралами минимальных порядков для (7).

То есть (7) является интегрируемым по Дарбу, но неясно не сводится ли оно точечными преобразованиями (2) к какому-то другому уравнению — например, к какому-нибудь уравнению из списка интегрируемых по Дарбу уравнений в работе [6]. Сравнивая (7) с уравнениями из указанного списка, мы видим, что интегрируемые по Дарбу уравнения в [6] имеют либо другие минимальные порядки интегралов (эти порядки сохраняются при заменах (2)), либо для них выполняется (4) с  $r < 2$ . Последнее легко проверяется с учетом того, что для всех уравнений в [6] указаны интегралы (не всегда минимального порядка) и из наличия у уравнения (1)  $y$ -интеграла  $\bar{w}$  порядка  $m$  следует выполнение (4) с  $g = -\ln(\bar{w}_{u_m})$  (см., например, [7]).

Таким образом, уравнение (7) отсутствует в [6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.Д. Полянин, В.Ф. Зайцев. Справочник по нелинейным уравнениям математической физики. — М.: Физматлит, 2002. 342 С.
2. Anderson I.M., Kamran N. The variational bicomplex for hyperbolic second-order scalar partial differential equations in the plane // Duke Math. J. 1997. Vol. 87. no. 2. P. 265–319.
3. Старцев С.Я. Законы сохранения для гиперболических уравнений: локальный алгоритм поиска прообраза относительно полной производной // Итоги науки и техн. Сер. Современ. мат. и ее прил. Темат. обз. 2019. Т. 162. С. 85–92.
4. Lainé M.E. Sur le méthode de Darboux et les équation de Moutard // Comptes rendus de l'Académie des sciences. 1927. Vol. 184. P. 319–320.
5. Жибер А.В., Юрьева А.М. Об одном классе гиперболических уравнений с интегралами второго порядка // Итоги науки и техн. Сер. Современ. мат. и ее прил. Темат. обз. 2018. Т. 152. С. 46–52.
6. Жибер А.В., Соколов В.В. Точно интегрируемые гиперболические уравнения лиувилевского типа // Успехи мат. наук. 2001. Т. 56. № 1. С. 63–106.
7. Жибер А.В. Квазилинейные гиперболические уравнения с бесконечной алгеброй симметрий // Известия РАН, серия математическая. 1994. Т. 58. № 4. С. 33–54.

© Старцев Сергей Яковлевич (intsys@internet.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ СЕТИ СВЯЗИ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ<sup>1</sup>

**SOLVING THE PROBLEM OF PARAMETRIC  
SYNTHESIS OF THE STRUCTURE  
OF THE COMMUNICATION NETWORK  
BY THE METHOD OF DIFFERENTIAL  
EVOLUTION**

**D. Tausnev  
K. Gaipov**

*Summary.* This article presents a method for solving a mathematical model of the optimal distribution of information flows with simultaneous search for channel bandwidth values, provided that the bandwidth value can vary discretely, and therefore the differential evolution method was used to solve such a problem. The criterion of optimality in solving the synthesis problem is the minimum total intensity of losses. A feature of the proposed method of differential evolution is the use of numerical methods for solving systems of nonlinear equations to adapt individuals to the constraints of the problem.

*Keywords:* differential evolution, traffic routing, conditional optimization.

**Тауснев Даниил Алексеевич.**

Сибирский государственный университет науки  
и технологий имени академика М.Ф. Решетнева  
mr.tays@bk.ru

**Гаипов Константин Эдуардович**

Ведущий научный сотрудник научной лаборатории  
Спутниковые телекоммуникационные системы;  
кандидат тех. наук, Сибирский государственный  
университет науки и технологии им. академика  
М.Ф. Решетнева  
gaipovke@yandex.ru

*Аннотация.* В данной статье приведён способ решения математической модели оптимального распределения информационных потоков с одно-временным поиском значений пропускных способностей каналов при условии, что значение пропускных способностей может изменяться дискретно, в связи с чем для решения такой задачи был применён метод дифференциальной эволюции. Критерием оптимальности при решении задачи синтеза является минимальная суммарная интенсивность потерь. Особенностью предлагаемого метода дифференциальной эволюции является использование численных методов решения систем нелинейных уравнений для адаптации индивидов под ограничения задачи.

*Ключевые слова:* дифференциальная эволюция, маршрутизация трафика, условная оптимизация.

## Введение

Одним из решений повышения качества функционирования сети является точное определение оптимальных маршрутов передачи данных и быстрое переключение более загруженных каналов связи на другие — свободные каналы. Несмотря на довольно обширный список работ [1–13] и различных технических реализаций в виде программ для ЭВМ [14–17], существующие механизмы не решают задачу параметрического синтеза пропускных способностей каналов связи с целью нахождения оптимальной маршрутизации трафика с потерями. В качестве способа получения математической модели распределения трафика за основу был выбран контурный метод

анализа с потерями математическая модель которого реализована в [18]. В качестве альтернативного варианта, который можно было использовать за основу, является метод предложенный в [19], но в отличие от контурного метода данный способ предполагает поиск всех беспетельных маршрутов [20], что для сетей большой размерности приводит к резкому увеличению оптимизируемых переменных. В связи с разработанной моделью была сформулирована задача оптимизации. Данная задача представляет особую трудность для классических детерминированных алгоритмов оптимизации, так как имеет большое количество вещественных и дискретных переменных, ограничений-равенств и неравенств, а также разрывную целевую функцию. Для решения поставленной задачи

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» СибГУ им. М.Ф. Решетнева

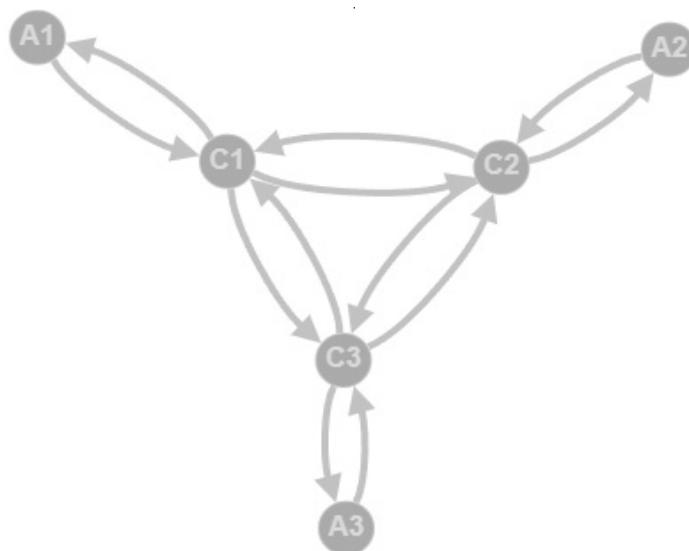


Рис. 1. Пример сети с тремя абонентами и тремя промежуточными узлами

был модифицирован и реализован алгоритм дифференциальной эволюции.

### Постановка задачи

Пусть дана сеть с  $n$  абонентами и  $n$  промежуточными узлами (см. пример на рис. 1). Известны следующие технические характеристики сети:  $\mu_{ij}$  — интенсивность обслуживания канала от узла  $C_i$  к узлу  $C_j$  (далее  $H_{ij}$ ) и  $N_{ij}$  — число мест в буфере соответствующего канала ( $i \neq j, i, j = \overline{1, n}$ ). Известно количество информации  $c_{ij}$  ( $i \neq j, i, j = \overline{1, n}$ ), которое необходимо передать от абонента  $A_i$  к абоненту  $A_j$ .

Обозначим за  $x_{ijk}$  количество информации от абонента  $A_k$ , проходящей по каналу  $H_{ij}$  ( $i \neq j, i, j, k = \overline{1, n}$ ). Соответственно

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^n x_{ijk} —$$

общее количество информации, проходящей по каналу  $H_{ij}$ . Обозначим за  $inp_i$  общее количество информации, исходящей от абонента  $A_i$ .

$$\text{Соответственно } inp_{ij} = \begin{cases} inp_i, & \text{если } i = j \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}.$$

Обозначим за  $e_{ijk}$  — количество информации от абонента  $A_k$ , потерявшейся в  $H_{ij}$  ( $i \neq j, i, j, k = \overline{1, n}$ ). Соответственно

$$e_{jk} = \sum_{i=1}^n e_{ijk} —$$

общее количество информации от абонента  $A_k$ , потерявшейся в узле  $C_j$ .

С другой стороны, количество информации от абонента  $A_k$ , потерявшейся в узле  $C_j$  равно разнице между количеством вошедшей информации и количеством вышедшей. Иными словами,

$$e_{jk} = \sum_{i=1}^n x_{ijk} - \sum_{i=1}^n x_{jik} - c_{kj} + inp_{jk} \quad (1)$$

Для нахождения численного решения необходимо задаться значением функции вероятности потерь, классическим вариантом можно считать, что потоки, создаваемые источниками обладают экспоненциальным распределением интервалов между вызовами, а время обслуживания также распределено по экспоненциальному закону, в такой ситуации математической моделью каждого канала будет система массового обслуживания M/M/1/N. Поскольку в формулу вероятности потерь входят еще значения числа мест в буфере, а также значение интенсивности обслуживания.

Таким образом можно записать следующее:

$$e_{ijk} = x_{ijk} \cdot p_{ij} \quad (2)$$

где:

$$p_{ij} = \frac{1 - \frac{x_{ij}}{\mu_{ij}}}{1 - \left(\frac{x_{ij}}{\mu_{ij}}\right)^{N_{ij}+1}} \cdot \left(\frac{x_{ij}}{\mu_{ij}}\right)^{N_{ij}} \quad (3)$$

обобщая уравнения (1), (2) и (3), получаем:

$$e_{jk} = \sum_{i=1}^n x_{ijk} \cdot \frac{1 - \frac{x_{ij}}{\mu_{ij}}}{1 - \left(\frac{x_{ij}}{\mu_{ij}}\right)^{N_{ij}+1}} \cdot \left(\frac{x_{ij}}{\mu_{ij}}\right)^{N_{ij}} =$$

$$= \sum_{i=1}^n x_{ijk} - \sum_{i=1}^n x_{jik} - c_{kj} + inp_{jk} \quad (4)$$

В реальной ситуации имеется возможность перераспределять интенсивность обслуживания потоков, но лишь на дискретную величину. Таким образом, вместо известных  $\mu_{ij}$  имеем:  $\Delta\mu_i$  и  $M_i$  такие, что

$$M_i = \sum_{j=1}^n \mu_{ij}, \quad \text{где } \mu_{ij} \in \{k \cdot \Delta\mu_i \mid k \in \mathbb{Z}_+\} \quad (5)$$

Критерием оптимизации маршрута является минимизация потерь:

$$E = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n e_{jk} \rightarrow \min \quad (6)$$

В итоге: имеется задача смешанной оптимизации с  $n^3 - n^2 + n$  вещественными переменными ( $x_{ijk}$  и  $inp_i$ ),  $n^2 - n$  дискретными переменными ( $\mu_{ij}$ ),  $2n^2$  ограничениями–равенствами ((1) и (2)),  $n^3 - n^2 + n$  ограничениями–неравенствами

( $x_{ijk} \geq 0$  и  $inp_i \geq 0$ ) и целевой функцией (6).

Выбор алгоритма оптимизации.

Описанная выше задача оптимизации является очень сложной по следующим причинам:

1. Ничего нельзя сказать о топологии целевой функции, например, является она полимодальной или унимодальной? Поэтому, детерминированные алгоритмы локальной оптимизации не могут дать нам гарантированно оптимального результата даже при многократном запуске.
2. Часть переменных дискретна, из чего следует, что методы оптимизации первого и второго порядка, такие как всевозможные методы градиентного спуска, метод Ньютона, метод Марквардта, метод Флетчера-Ривса, метод Дэвидона-Флетчера-Пауэлла и им подобные не подходят для решения данной задачи.

Задача имеет большую размерность, уже при  $n = 10$  имеется около 1000 переменных различного рода.

Задача имеет много ограничений равенств и неравенств, что затрудняет поиск даже одного допустимого решения (которое необходимо как стартовая точка для некоторых методов).

Целевая функция имеет области неопределённости (например, при  $\mu_{ij} = 0$ ).

Для решения поставленной задачи будет использован алгоритм дифференциальной эволюции. Преимуществами данного алгоритма являются следующие факты:

1. Алгоритм относится к алгоритмам нулевого порядка, то есть не требует знаний о градиенте целевой функции, что позволит его использовать, как для этой, так и для более сложных моделей.
2. Алгоритм является стохастическим, что позволяет ему не сходиться к ближайшему локальному оптимуму, а искать более широко.
3. Алгоритм хорошо зарекомендовал себя при оптимизации целевых функций со сложной топологией: он может работать с прерывистыми функциями, с функциями, имеющими области постоянства, и с полимодальными функциями.
4. Алгоритм легко модифицируется, его можно изменять под конкретную задачу. Есть версии алгоритма для задач больших размерностей, а также для задач с ограничениями, что является необходимым в текущей задаче.
5. Алгоритм позволяет работать как с вещественными, так и с дискретными переменными.

Описание используемого алгоритма дифференциальной эволюции.

Для решения задачи оптимизации выполняются следующие шаги:

1. Инициализация популяции случайными значениями
2. Адаптация индивидов под ограничения задачи
3. Вычисление значений целевой функции для каждого индивида
4. Назначение штрафов для каждого индивида
5. Назначение пригодности каждому индивиду
6. Если достигнут критерий остановки, завершить работу алгоритма, в качестве результата взять лучшего индивида
7. Генерация нового поколения
8. Перейти к шагу 2

Адаптация индивидов под ограничения производится следующим образом: для реализации естественных ограничений ( $x_{ijk} \geq 0$  и  $inp_i \geq 0$ ) каждая компонента индивида берётся по модулю. Для выполнения ограничений (5) каждая компонента  $\mu_{ij}$  округляется до ближайшего значения, далее одна из  $\mu_{ij}$  выражается из соответствующего уравнения. Для удовлетворения ограничений (4) фиксируются  $n^3 - n^2$  переменных, а относительно оставшихся переменных численно решается система линейных уравнений (4). В данной

Таблица 1. Результаты численных экспериментов

Номер задачи	Количество абонентов	Потери информации до оптимизации	Потери информации после оптимизации	Коэффициент снижения потерь
1	4	9.23%	2.09%	4.5
2	4	7.1%	0.14%	51
3	6	11.7%	1.5%	8
4	7	7.66%	1.48%	5

работе для численного решения использовался метод простой итерации, описанный ниже. В следствие решения системы уравнений некоторые переменные могут стать меньше нуля, именно на таких индивидов в дальнейшем накладывается большой аддитивный штраф, вычисляемый по формуле:

$$shtraph = -K \sum_{x_i \in S} x_i, \quad \text{где } S = \{x_k < 0\} \quad (7)$$

Генерация новых индивидов проходит согласно следующему алгоритму:

1. Задать параметры алгоритма:  $0 \leq C \leq 1$  и  $F > 0$
2. Выбрать случайных индивидов  $a, b$  и  $c$
3. Сгенерировать «мутанта»  $mut = a + F(b - c)$
4. Перемешать индивида и мутанта (с вероятностью  $C$  выбираются координаты исходного индивида и с вероятностью  $1 - C$  — «мутанта»)
5. Вычислить пригодность нового индивида
6. Если новый индивид лучше, заменить старого индивида

### Метод простой итерации

Метод итерации или метод простой итерации — численный метод решения системы линейных алгебраических уравнений. Суть метода заключается в нахождении по приближенному значению величины следующего приближения, являющегося более точным.

Метод позволяет получить значения корней системы с заданной точностью в виде предела последовательности некоторых векторов (в результате итерационного процесса). Характер сходимости и сам факт сходимости метода зависит от выбора начального приближения корня.

Пусть дана система из  $n$  нелинейных уравнений с  $n$  неизвестными:

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ \vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Для применения метода приведём систему к равносильному виду:

$$\begin{cases} x_1 = h_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ x_2 = h_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ x_n = h_n(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{cases} \quad (9)$$

Шаг 1. Зададим начальное значение вектора решений  $x^{(0)}$ , некоторое малое число  $\epsilon$  и положим  $k = 0$

Шаг 2. Вычислим следующее значение вектора переменной по формуле:

$$\begin{cases} x_1^{(k+1)} = h_1(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}) \\ x_2^{(k+1)} = h_2(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}) \\ \vdots \\ x_n^{(k+1)} = h_n(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}) \end{cases} \quad (10)$$

Шаг 3. Как только выполняется условие остановки

$$\max(|x_i^{(k+1)} - x_i^{(k)}|) < \epsilon$$

расчет окончен, в противном случае —  $k = k + 1$ , переходим к шагу 2.

### Результаты экспериментальных исследований

Случайным образом было сгенерировано 4 задачи, с 4, 4, 6 и 7 абонентами соответственно. Результаты сравнения потерь информации до и после оптимизации представлены в таблице 1.

Стоит отметить, что нельзя сделать никаких выводов о том, насколько хорошо алгоритм решает поставленную задачу, так как нам неизвестно, решал ли кто-либо задачу оптимальной маршрутизации трафика в такой постановке. Если же сравнивать потери информации до оптимизации с потерями информации, при отправке всей информации напрямую, можно сделать вывод, что алгоритм отработал успешно, так как потери информа-

ции сократились в несколько раз на каждой экспериментальной сети.

### Заключение

В данной работе была разработана математическая модель маршрутизации трафика в сети. Разработан и реализован алгоритм решения задачи оптимизации маршрутизации трафика с критерием минимизации потерь. На численных экспериментах алгоритм показал хорошие результаты (по сравнению с примитивным решением).

Перспективные направления разработки:

1. Применение алгоритма для решения задачи оптимизации маршрутизации трафика при использовании других моделей и критериев.

2. Реализация усовершенствованного алгоритма дифференциальной эволюции для ускорения и увеличения качества решения задачи.
3. Реализация более современного метода численного решения системы нелинейных уравнений для ускорения алгоритма.
4. Время работы алгоритма значительно возрастает с ростом количества абонентов. В связи с этим представляется целесообразным создание базы данных оптимальных распределений, которую можно использовать для обучения регрессионных моделей (например, нейронных сетей), которые могут генерировать хорошую отправную точку для работы Дифференциальной эволюции, что значительно увеличит скорость.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Moy J. OSPF Version 2, STD54, RFC2328, April 1998.
2. Sridharan, Guerin R., Diot C. Achieving near-optimal traffic engineering solutions for current OSPF/IS-IS networks, in IEEE/ACM Trans. Netw., vol. 13, 2005, pp. 234–247.
3. Yen J.Y., Finding the K Shortest Loopless Paths in a Network, Management Hayka, том 17, № 11, С. 712–716, 1971.
4. Awduche D., Chiu A., Elwalid A., Widjaja I., Xiao X., Overview and Principles of Internet Traffic Engineering. // RFC3272, 2002. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3272.txt>.
5. Sharafat A.R., Das S., Parulkar G.M., McKeown N. MPLS-TE and MPLS VPN Swith OpenFlow, ACM SIGCOMM 2011 Conference on Applications, Technologies, Architectures and Protocols for Computer Communications, Toronto, ON, Canada, August 2011.
6. Shibano P., Koryachko V.P., Izhvanov Y.L. Modeling of Aggregated Telecommunication Link with Technology of OpenFlows, Radioengineering, 2012, No.3, pp.109–112.
7. Lemesko A.V., Vavenko T.Y. Improvement of Flow Model of Multipath Routing on the Basis Load Balancing, Problems of telecommunications, 2012, Vol.6, № 1, pp. 12–29.
8. Lemesko A.V., Vavenko T.V. Development and Research of the Flow Model of Adaptive Routing in the Software-Defined Networks with Load Balancing, Proc. of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics [Doklady Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta Sistem Upravlenija i Radioelektroniki], Vol.29, No.3, pp. 100–108.
9. Merindol P. Improving Load Balancing with Multipath Routing, Proc. of the 17-th International Conference on Computer Communications and Networks (IEEE ICCCN2008), 2008, pp. 54–61.
10. Mikhailenko V.S., Solodovnik M.S. Analysis of the Adaptive Neural Network Router, Automatic Control and Computer Science, 2016, Vol.50, № 1, pp. 46–53.
11. Perepelkin D.A., Tsyganov I. Yu. Algorithm of paired transitions in computer networks based on the subnet routing method // Bulletin of RGRU, 2016, No. 57, pp. 56–62.
12. Goulamghoss M.I., Bassoo V. Analysis of traffic engineering and fast reroute on multiprotocol label switching. J Ambient Intell Human Comput 12, 2409–2420 (2021). URL: <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02365-5>
13. Papan J., Segec P., Yeremenko O., Bridova I., Hodon M. Enhanced Multicast Repair Fast Reroute Mechanism for Smart Sensors IoT and Network Infrastructure. Sensors 2020, 20, 3428. URL: <https://doi.org/10.3390/s20123428>
14. Модуль динамической балансировки потоков данных в программно-конфигурируемых сетях с обеспечением качества сетевых сервисов. Патент № 2017615438. Российская Федерация, № 2017612610, заявл. 22.03.2017, опубл. 16.05.2017; Перепелкин Д.А., Бышов В.С.
15. Модуль многопутевой маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях на базе протокола OpenFlow. Патент № 201761264. Российская Федерация, № 2016660593, заявл. 13.10.2016, опубл. 02.03.2017. Перепелкин Д.А., Иванчикова М.А.
16. Программа динамической межузловой балансировки трафика. Патент № 2015662938. Российская Федерация, № 2015618100, заявл. 04.09.2015, опубл. 20.01.2016 / Искоков Д.С., Зарипова Э.Р.
17. Система многопутевой адаптивной маршрутизации и балансировки нагрузки в динамических корпоративных сетях. Патент № 2015662569. Российская Федерация, № 2015619243, заявл. 05.10.2015, опубл. 20.12.2015. Перепелкин Д.А., Бышов В.С.
18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022684654 Российская Федерация. Оптимальное распределение трафика сети массового обслуживания на основе контурного метода по критерию минимума потерь: № 2022683987: заявл. 08.12.2022: опубл. 15.12.2022 /

К.Э. Гаипов, И.Л. Крикунов, А.А. демичева; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва».

19. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. / Перевод с англ. Н.Б. Лиханова и др.; Под ред. Б.С. Цыбакова. — М.: Мир, 1989, 544 с.

20. Демичев М.С., Гаипов К.Э. Алгоритм поиска беспетельных маршрутов // Программные системы и вычислительные методы. 2020. № 4.

© Тауснев Даниил Алексеевич ( mr.tays@bk.ru ), Гаипов Константин Эдуардович ( gaipovke@yandex.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва

# АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕДВЕСТНИКОВ ОТКАЗА

## ANALYSIS OF APPLICATION OF STABILITY INDICATORS IN THE DEVELOPMENT OF AN EXPERT SYSTEM FOR DETECTING FAILURE PRECURSORS

**M. Tikhonov**  
**R. Tikhonov**

*Summary.* This article discusses and analyzes stability indicators and the possibility of their application in expert systems for detecting failure precursors. The indicators are based on generally accepted and widely described economic indicators and are focused on application in various organizations and activities. The indicators are divided into three groups depending on the method of obtaining their values, namely by: comparing the values of generally accepted economic indicators; comparing the rate of change of generally accepted economic indicators (their first derivatives); comparing the acceleration of change in generally accepted economic indicators (their second derivatives). The possibility of processing these indicators using conventional fuzzy inference models is analyzed.

*Keywords:* stability indicators, expert system, artificial intelligence, automated control system, failure precursors.

**Тихонов Мартин Робертович**

*К.т.н., доцент института СПИНТех, Национальный  
исследовательский университет «МИЭТ»  
kurotenshi91@yandex.ru*

**Тихонов Роберт Робертович**

*Старший преподаватель, Национальный  
исследовательский университет «МИЭТ»  
expert-economist@mail.ru*

*Аннотация.* В данной статье рассмотрены и проанализированы показатели устойчивости и возможность их применения в экспертных системах обнаружения предвестников отказов. Показатели основаны на общепринятых и широко описанных экономических показателях и ориентированы на применение в различных организациях и видах деятельности. Показатели разделены на три группы в зависимости от способа получения их значений, а именно путём: сопоставления значений общепринятых экономических показателей; сопоставления скорости изменения общепринятых экономических показателей (их первых производных); сопоставления ускорения изменения общепринятых экономических показателей (их вторых производных). Проанализирована возможность обработки данных показателей с применением общепринятых моделей нечеткого вывода.

*Ключевые слова:* показатели устойчивости, экспертная система, искусственный интеллект, автоматизированная система управления, предвестники отказов.

**П**рименение экспертных систем нашло свое широкое распространение в текущей ситуации развития производства. Высокая степень неопределенности, связанная с отсутствием точной математической модели в процессах организации, а также невозможность определения их показателей в целях принятия решений, вынуждает использовать экспертных системы. Такие системы содержат нечеткую логику, преобразующую поданные входы (данные о текущей ситуации) в выходы системы. Экспертные системы можно применять на этапе выходного контроля для расчета управляющего воздействия на будущие периоды. Таким образом возможно обнаружение предвестников отказа систем, в том числе экономических, с применением экспертных систем.

Экспертные системы предполагают наличие в них параметров, обрабатываемых с помощью нечеткой ло-

гики. В качестве параметров могут быть выбраны различные показатели описываемого объекта или процесса.

В целях обнаружения предвестников отказа систем (в том числе экономических) могут быть использованы показатели устойчивости  $X = (x_1, \dots, x_i)$ . Количество таких показателей  $i$  зависит от типа системы и её обрачиваемости.

В основе показателей устойчивости организации лежат общепринятые и широко описанные экономические показатели, такие как:

- ◆ труд  $L$ , как фактор производства;
- ◆ капитал  $K$ , который находится как функция от труда:  $K = f(L)$ ;
- ◆ оборотные средства  $W$ , которые находятся как функция от капитала:  $W = f(K)$ ;

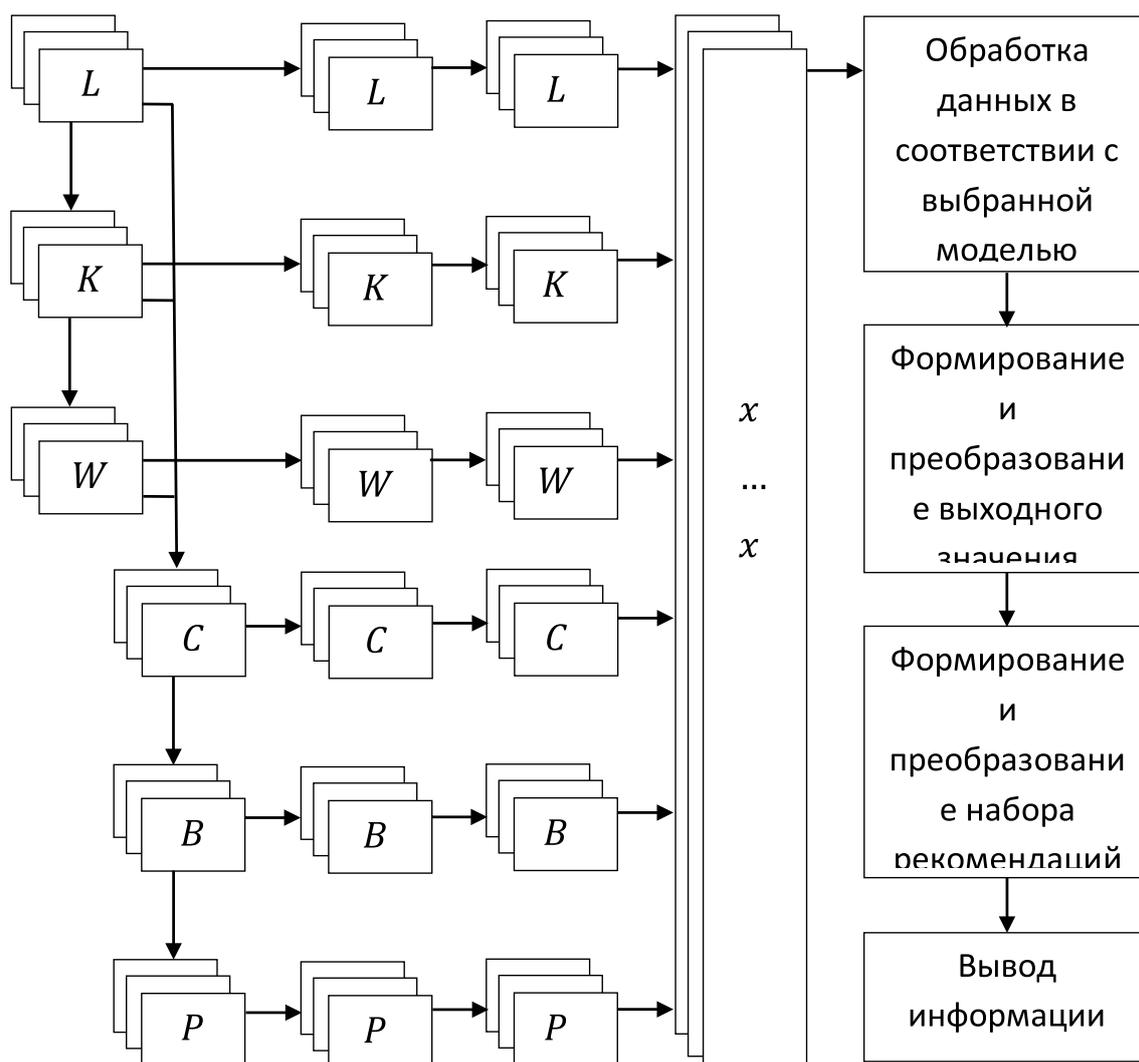


Рис. 1. Схема функционирования экспертной системы

- ◆ себестоимость  $C$ , которая находится как функция от труда, капитала и оборотных средств:  $C = f(W, K, L)$ ;
- ◆ выручка  $B$ , которая находится как функция от себестоимости:  $B = f(C)$ ;
- ◆ прибыль  $P$ , которая находится как функция от выручки:  $P = f(B)$ ;

Показатели устойчивости могут быть получены путём:

- ◆ сопоставления значений общепринятых экономических показателей  $x_i = f(L, K, W, C, B, P)$ . Данные значения являются индикаторами состояния производства и системы на текущий момент времени, без привязки к темпам их развития;
- ◆ сопоставления скорости изменения общепринятых экономических показателей (их первых производных)  $x_i = f(L', K', W', C', B', P')$ . Показате-

ли этой группы свидетельствуют о тенденциях развития системы в долгосрочной перспективе или на несколько периодов;

- ◆ сопоставления ускорения изменения общепринятых экономических показателей (их вторых производных)  $x_i = f(L'', K'', W'', C'', B'', P'')$ . Ускорение показателей показывает состояние системы в расчёте на резкие, краткосрочные изменения.

Оценивая и сравнивая значения данных показателей между собой, можно судить об устойчивости системы в целом, как в долгосрочной, так и в краткосрочной перспективе. Однако для верного заключения необходимы экспертные знания конкретной предметной области, что приводит к сложности применения этих показателей на практике с использованием классических методов.

Данная проблема решается путём разработки и внедрения экспертной системы обнаружения предвестников отказов на основе показателей устойчивости. Целью данной системы является формирования заключения о вероятности отказа системы и набора рекомендаций по устранению (предотвращению) отказа по заданным значениям показателей, рассчитываемых за несколько периодов:

$$f(\{X\}_T, \dots, \{X\}_{-kT}) = \\ = f(\{(x_1, \dots, x_i)\}_T, \dots, \{(x_1, \dots, x_i)\}_{-kT}) = \{p, R\}$$

где  $f$  — функция, заложенная в экспертную систему;  $X$  — множество показателей устойчивости;  $T$  — период сбора значений параметров;  $k$  — индекс периода;  $x$  — показатель устойчивости;  $i$  — индекс показателя устойчивости;  $p$  — вероятность возникновения отказа;  $R$  — множество рекомендаций по отказам.

Вероятность потенциального отказа системы является основным выходом, по которому может быть принято решение о проведении мероприятий по его предотвращению. Однако не всегда имеется возможность квалифицировано выработать такие мероприятия. В связи с чем необходим дополнительный выход экспертной системы, а именно набор рекомендаций. Данный набор формируется экспертами при разработке базы знаний системы на этапе её настройки. Рекомендации могут быть направлены как на предотвращение возникновения отказа, так и на уменьшение его последствий (в соответствии с теорией управления рисками, которые в технических системах являются отказами). Примерами рекомендаций могут служить как акцентирование внимания на показатели и их значения или их несоответствие для управляемого процесса, так и экспертные предложения по улучшению или изменению в следующих факторах процесса и системы в целом:

- ◆ материалы, применяемые в рассматриваемом (управляемом) объекте или процессе;
- ◆ методы, на основе которых проводится выполнение процесса или которые заложены в структуре объекта;
- ◆ оборудование, применяемое в процессе или при обработке объекта;
- ◆ люди, участвующие в процессе или контактирующие с объектом;
- ◆ внешняя среда, влияющая на процесс или рассматриваемый управляемый объект.

С учётом описанных выше положений, возможно построение схемы функционирования экспертной системы, представленной на рис. 1.

Из схемы следует, что для нормального функционирования разрабатываемой экспертной системы возможно и достаточно применение общепринятых экономических показателей в качестве ее входов. Экспертная система должна содержать алгоритмы последовательного преобразования общепринятых экономических показателей в показатели устойчивости, а далее их обработку в выходную информацию о вероятности возникновения отказа системы с применением выбранной модели.

В качестве модели нечеткого вывода может быть применены следующие модели:

- ◆ Сугэно. Модель предполагает наличие линейной и зависимой от значений предпосылок нечетких правил функции принадлежности, что имеет ряд ограничений для внедрения и обработки данных в экспертной системе обнаружения предвестников отказа;
- ◆ Тсукамото. Для данной модели свойственно применение в качестве функций принадлежности монотонной функции: экспоненты, параболы, константы и т.д., что повышает сложность задания нечетких правил и параметров термов функций;
- ◆ Ларсена. Она предполагает перебор всех нечетких правил на этапе композиции с целью получения усеченной функции принадлежности, однако в ней применяется операция алгебраического произведения, что уменьшает точность расчета выходного параметра в рамках данной экспертной системы обнаружения предвестников отказа;
- ◆ Мамдани. В данной модели, так же как и в модели Ларсена, проводится перебор нечетких правил, однако при расчете используется функция минимума, что является лучшим вариантом для оценивания вероятности отказа по показателям устойчивости.

В ходе анализа было установлено, что показатели устойчивости, значения которых может быть получено в любой производственной среде, могут быть основой для построения экспертных систем обнаружения предвестников отказов. Данный факт позволяет применять данные системы в процессах организации без особых дополнительных операций. При этом в системе могут быть применены классические модели нечеткого вывода, что также расширяет возможности применения систем обнаружения предвестников отказов. Показатели устойчивости и экспертных данные об их значениях свидетельствуют о краткосрочных и долгосрочных перспективах рассматриваемого процесса или объекта, что повышает возможности их управления и прогнозирования рисков и отказов в них.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов, М.Р. Принципы организации экспертной системы выявления предвестников отказов в микроэлектронном производстве // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. — 2022. — Т. 11. — № 3(59). — С. 15–18.
2. Хабибрахманова, А.Р. Анализ измерительных систем как инструмент повышения качества измерений / А.Р. Хабибрахманова, О.Ф. Вячеславова, И.Е. Парфеньева // В сборнике: НАУКА РОССИИ: ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ. сборник научных трудов по материалам VIII международной научной конференции. Международная Объединенная Академия Наук. — 2018. — С. 48–55.
3. Шилова, С.В. Композиция Мамдани в моделях нечеткого анализа как нечеткий аналог подстановок зависимостей / С.В. Шилова, О.Н. Бурмистрова // Современные наукоемкие технологии. — 2021. — № 10. — С. 102–107.
4. Синюк, В.Г. Анализ методов вывода на основе нечеткого значения истинности для нечетких логических моделей с MISO-структурой / В.Г. Синюк, С.В. Кулабухов // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2020. — № 2. — С. 94–98.
5. Дроздов, К.Д. Функция принадлежности в дефектоскопии / К.Д. Дроздов, Г.Г. Кашеварова // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. — 2021. — Т. 1. — С. 26–34.
6. Хабибуллина, Е.Л. Нейро-нечеткие алгоритмы экспертной системы в задаче управления транспортными потоками / Е.Л. Хабибуллина, А.К. Погодаев // В сборнике: Гибридные и синергетические интеллектуальные системы. Материалы V Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием. Под редакцией А.В. Колесникова. — 2020. — С. 384–392.
7. Гаджиев, Ф.Г. Алгоритм представления свойств объектов экспертной системы / Ф.Г. Гаджиев, Ф.И. Гулузаде // Международный научно-исследовательский журнал. — 2019. — № 4–1 (82). — С. 11–13.

© Тихонов Мартин Робертович ( kurotenshi91@yandex.ru ), Тихонов Роберт Робертович ( expert-economist@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



МИЭТ

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТИ

### SIMULATION MODELING OF THE STUDY OF ELECTRICITY QUALITY INDICATORS IN THE NETWORK

**G. Falkov  
S. Popov  
I. Manshin  
A. Gorlov**

*Summary.* To date, the operation of electric receivers with a nonlinear characteristic is accompanied by the generation of higher harmonic components of currents and voltages in the network. As a result of these processes, there is a decrease in the quality of electricity, an increase in electrical energy losses, as well as equipment failure. As a result, there is an increase in the need for funds to compensate for the harmonic components of currents and harmonic voltages. The paper presents a study of the effect of electric receivers on electricity in the network (as an example, a simulation model is made for a high-voltage mine network in the Matlab software package with the Simulink extension package and the SimPowerSystems library).

*Keywords:* simulation modeling, power quality indicators in the network, passive harmonic filter, active harmonic filter, hybrid harmonic filter, fuzzy logic.

**Фальков Георгий Александрович**

Аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
г. Белгород  
falkov.ga@bstu.ru

**Попов Сергей Александрович**

Аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
г. Белгород  
popov.gs.bstu@yandex.ru

**Маньшин Илья Михайлович**

Аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
г. Белгород  
manhin@yandex.ru

**Горлов Александр Семенович**

К.т.н., доцент, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
г. Белгород  
belgoras@mail.ru

*Аннотация.* На сегодняшний день работа электроприёмников с нелинейной характеристикой сопровождается генерацией высших гармонических составляющих токов и напряжений в сети. Вследствие данных процессов происходит снижение показателей качества электроэнергии, повышение потерь электрической энергии, а также выход из строя оборудования. В результате возникает рост потребности в наличии средств для компенсации гармонических составляющих токов и напряжений гармоник. В работе представлено исследование влияния электроприёмников на электроэнергию в сети (в качестве примера имитационная модель выполнена для высоковольтной рудничной сети в программном комплексе Matlab с пакетом расширений Simulink и библиотекой SimPowerSystems).

*Ключевые слова:* имитационное моделирование, показатели качества электроэнергии в сети, нечёткая логика, пассивный фильтр гармоник, активный фильтр гармоник, гибридный фильтр гармоник.

### Введение

**В** настоящее время трудно представить себе современное производство без регулируемых электроприводов (построенных на базе частотных преобразователей или тиристорных регуляторов напряжения), всевозможных инверторов, систем бесперебойного питания, а также люминесцентных или светодиодных источников освещения. Все эти потребители являются нелинейной нагрузкой, что сказыва-

ется на качестве электроэнергии и уровне высших гармоник (ВГ) тока и напряжения. Повышенный уровень гармоник может приводить преждевременному износу изоляции трансформаторов и электродвигателей, перегрузке проводников нейтрали, что ведёт к дополнительным потерям электроэнергии, повышенным расходам на обслуживание оборудования и в конкретных случаях может вести к снижению качества производимой продукции. Одним из методов анализа нелинейности является составление имитационной модели [2].

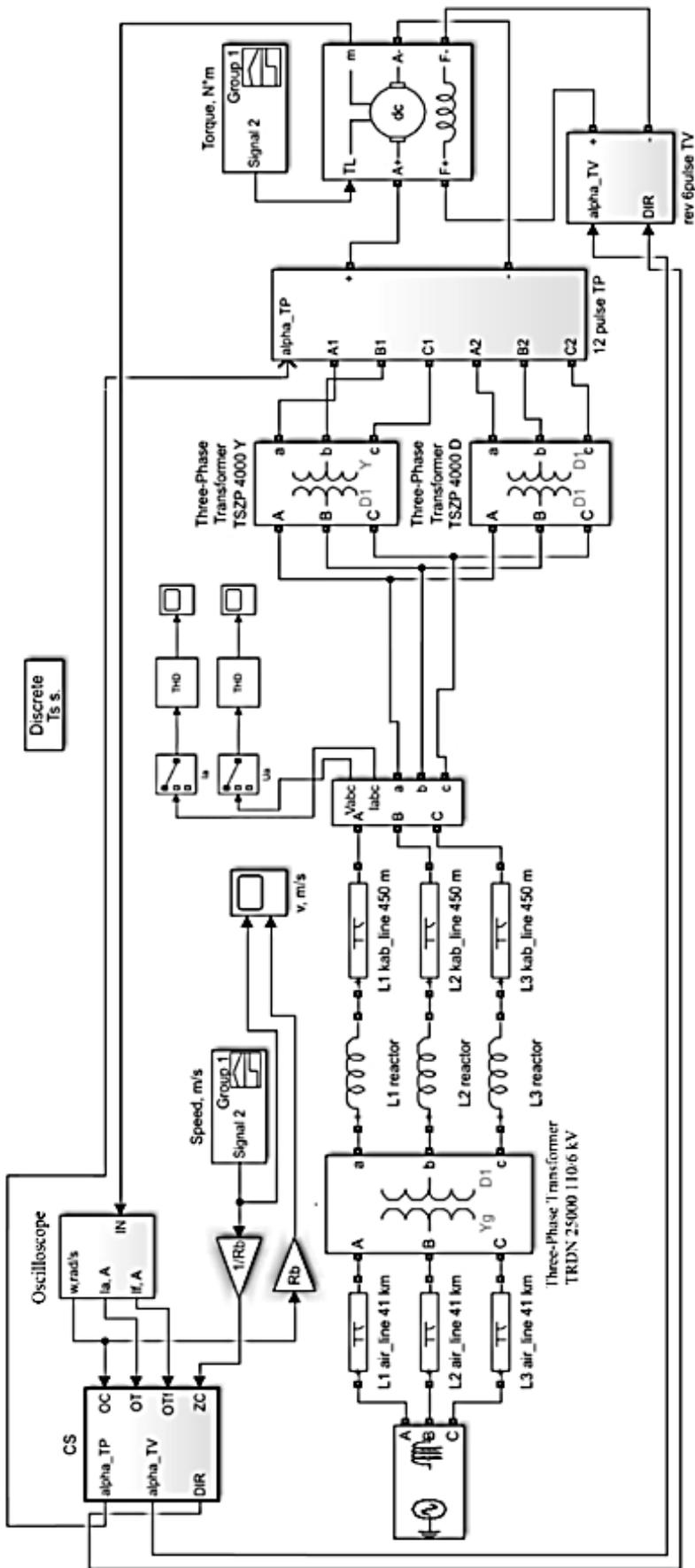


Рис. 1. Имитационная модель высоковольтной рудничной сети скиповой подъемной установки

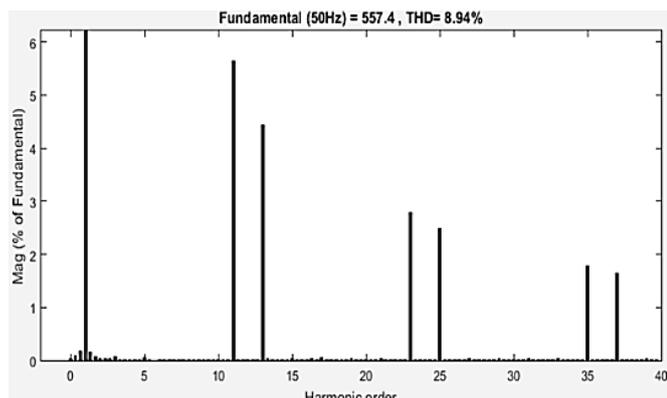


Рис. 2. Гистограмма токов высших гармоник на вводе системы электроснабжения

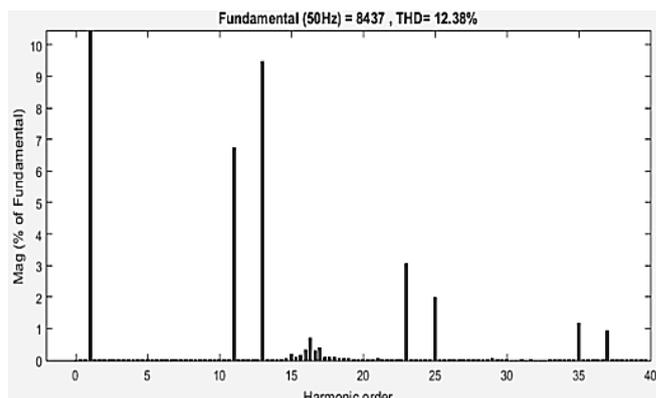


Рис. 3. Гистограмма напряжений высших гармоник на вводе системы электроснабжения

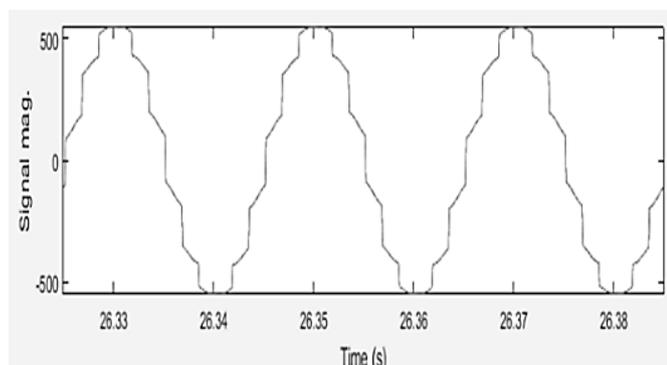


Рис. 4. Осциллограмма токов высших гармоник на вводе системы электроснабжения

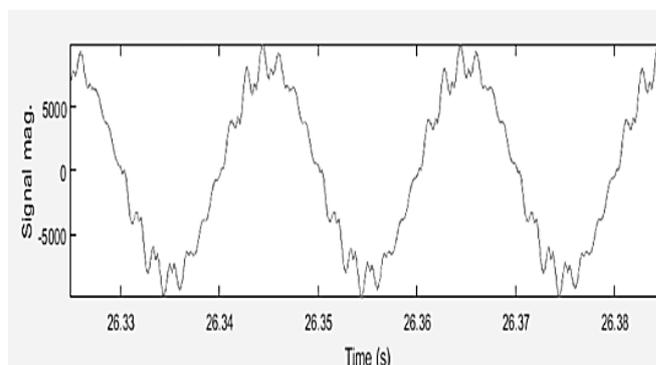


Рис. 5. Осциллограмма напряжений высших гармоник на вводе системы электроснабжения

## Результаты исследования

Рассмотрим в качестве примера имитационную модель высоковольтной рудничной сети Яковлевского ГОКа Белгородской области для электроснабжения скиповой подъёмной установки с внедрением системы визуализации динамических систем MatLab Simulation представленную на рис. 1. Модель состоит из источника синусоидального напряжения (Three-Phase Source), линии электропередачи, блока понижающего (Three-Phase Transformer) и двух согласующих трансформаторов (Three-Phase Transformer1 и Three-Phase Transformer2), 12-пульсного тиристорного преобразователя (Thyristor converter1), двигателя (DC Machine), реверсивного 6-пульсного тиристорного возбудителя (Thyristor converter2), блока выходных осциллограмм (Scope), системы управления (Control system), задающее воздействие в соответствии с тахограммой движения выполнено с помощью блока Group 1. Блоки THD предназначены для измерений

показателей качества электроэнергии на вводе системы электроснабжения.

Произведя моделирование получим гистограмму токов и напряжений высших гармоник на вводе системы электроснабжения (рис. 2 и 3). Осциллограмма токов и напряжений высших гармоник на вводе системы электроснабжения представлена на рис. 4 и 5.

По результатам проведения измерений значение коэффициентов нелинейных искажений THD для тока и напряжения составляет соответственно 8,94 и 12,38%.

Также из графиков следует, что форма тока и напряжения на вводе системы электроснабжения не близка к синусоидальной.

Таким образом, в показателях качества электроэнергии на вводе системы электроснабжения имеются отклонения от требуемых ГОСТ 32144–2013 [5,6].

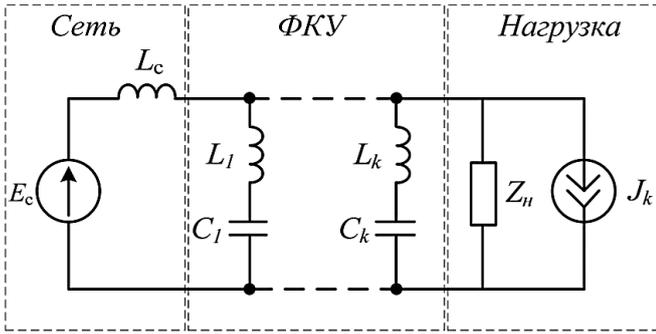


Рис. 6. Эквивалентная схема «ФКУ-внешняя сеть»

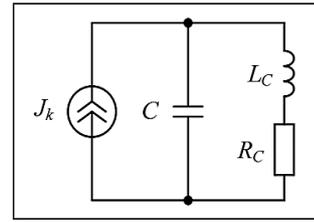


Рис. 7. Эквивалентная схема «компенсирующий конденсатор — внешняя сеть»

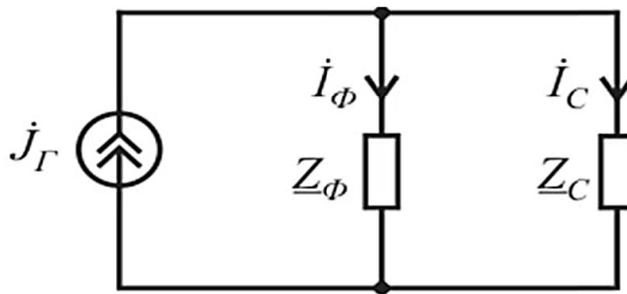


Рис. 8. Эквивалентная схема «фильтр-питающая сеть»

Для снижения уровня ВГ в сетях электроснабжения чаще всего применяются пассивные фильтры гармоник (ПФГ), активные фильтры гармоник (АФГ) и гибридные фильтры гармоник (ГФГ).

Эквивалентная схема «ФКУ-внешняя сеть» представлена на рис. 6. [3].

Полное входное сопротивление определяется по формуле (1):

$$Z_1 = R + j \left( \omega_1 \cdot L - \frac{1}{\omega_1 \cdot C} \right). \quad (1)$$

Уравнения данного четырёхполюсника определяются по формуле (2):

$$\begin{bmatrix} I_c \\ U_{\text{топ}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} \\ F_{21} & F_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_k \\ J_k \end{bmatrix}, \quad (2)$$

Распределение тока k-й гармоники между системой «ФКУ — внешняя сеть» определяется по формуле (3):

$$\left| F_{12}(j\omega) \right|^2 + \left| F_{22}(j\omega) \right|^2 = 1. \quad (3)$$

Матрица гибридных параметров определяется по формуле (4):

$$[F] = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{Z_{\text{нф}}}{Z_{\text{нф}} + Z_c} \\ \frac{Z_{\text{нф}}}{Z_{\text{нф}} + Z_c} & \frac{Z_{\text{нф}} Z_c}{Z_{\text{нф}} + Z_c} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Введение конденсаторов в сеть приводит к тому, что ёмкость с индуктивностью внешней линии становится параллельным колебательным контуром (рис. 7).

Текущий коэффициент передачи в сеть определяется по формуле (5):

$$F_{12}(j\omega) = \frac{1}{-\omega^2 L_c C + j\omega RC + 1}. \quad (5)$$

$|F_{12}(j\omega)| \rightarrow \max$  на резонансной частоте

$$\omega_0 = 1 / \sqrt{L_c C}.$$

При  $\omega > \omega_0$  коэффициент  $F_{12}(j\omega)$  определяется по формуле (6):

$$F_{12}(j\omega) \approx \frac{1}{-\omega^2 L_c C}. \quad (6)$$

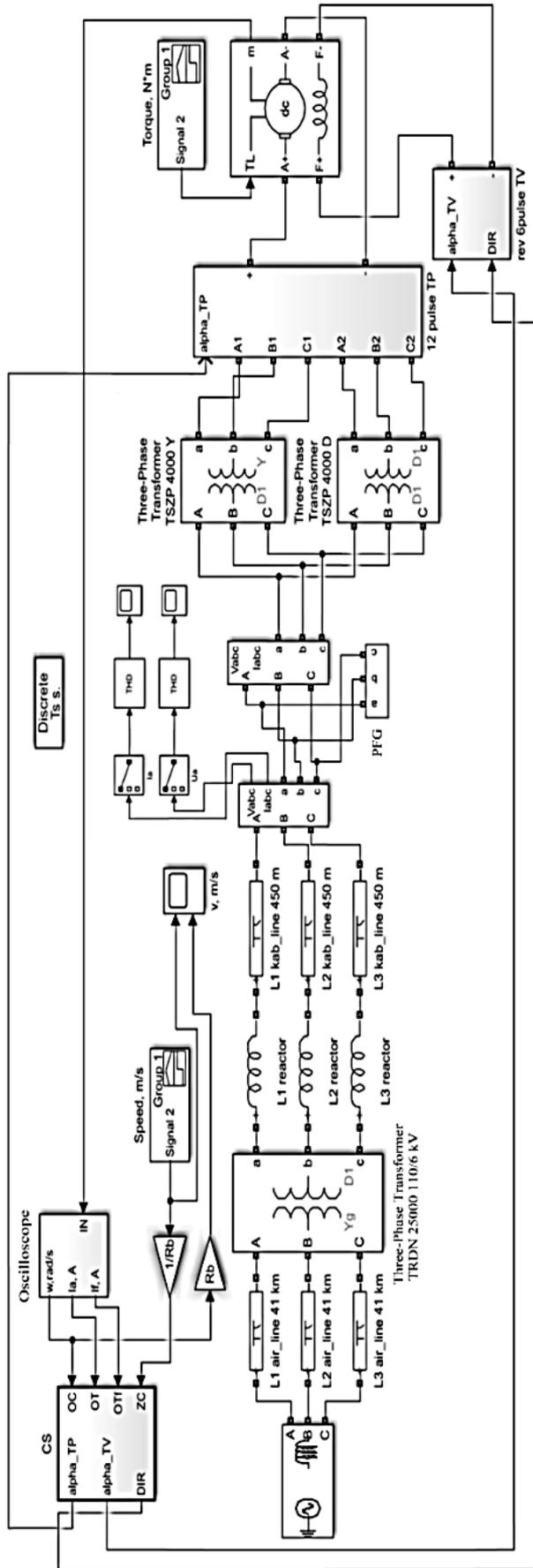


Рис. 9. Имитационная модель высоковольтной рудничной сети скиповой подъёмной установки с установленными ПФГ

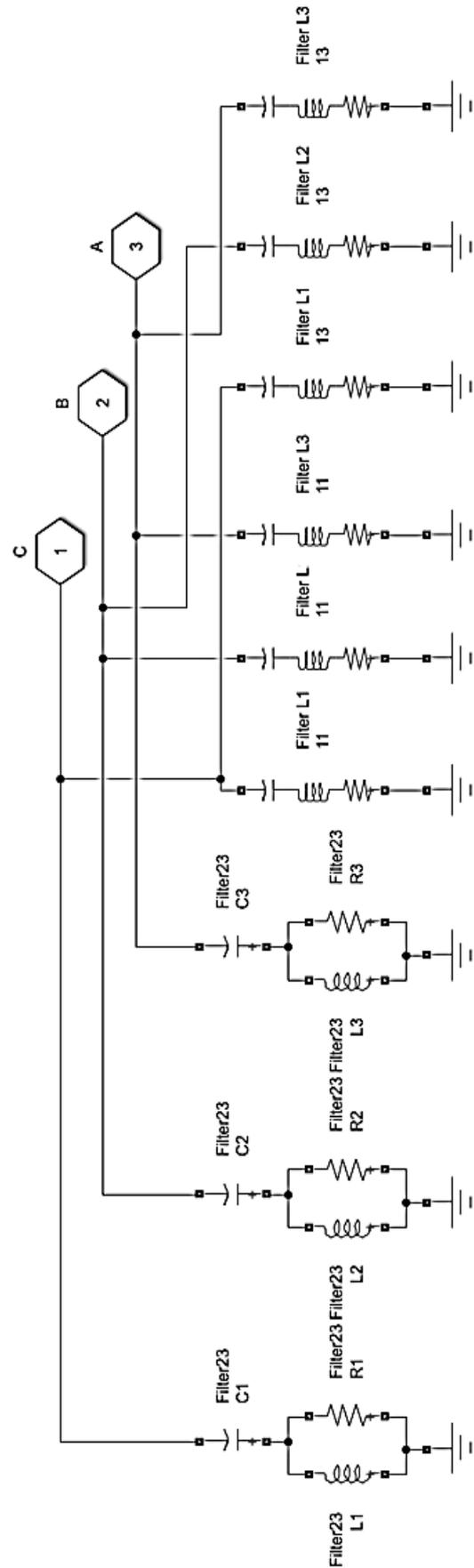


Рис. 10. Блок PFG

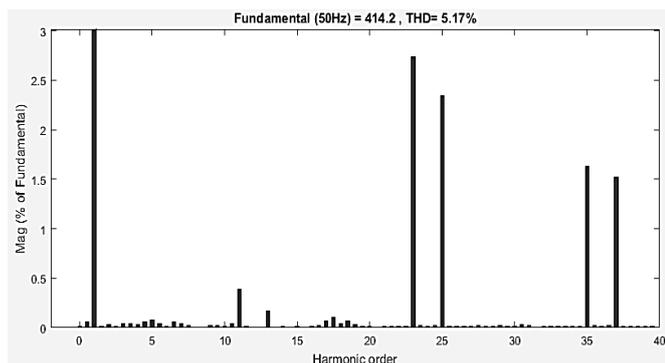


Рис. 11. Гистограмма токов высших гармоник на вводе системы электроснабжения с установленными ПФГ

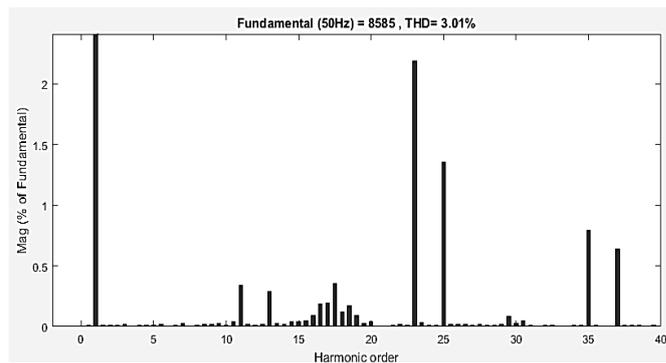


Рис. 12. Гистограмма напряжений высших гармоник на вводе системы электроснабжения с установленными ПФГ

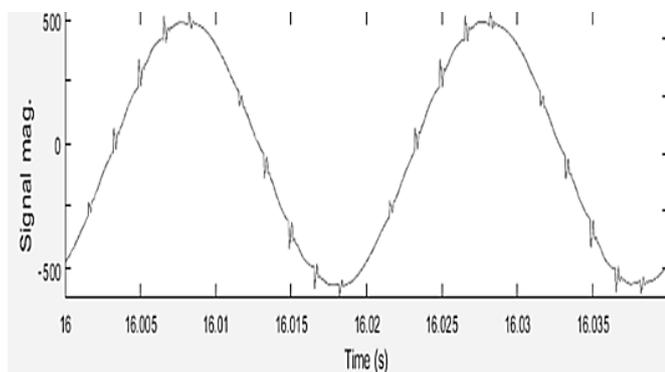


Рис. 13. Осциллограмма токов высших гармоник на вводе системы электроснабжения с установленными ПФГ

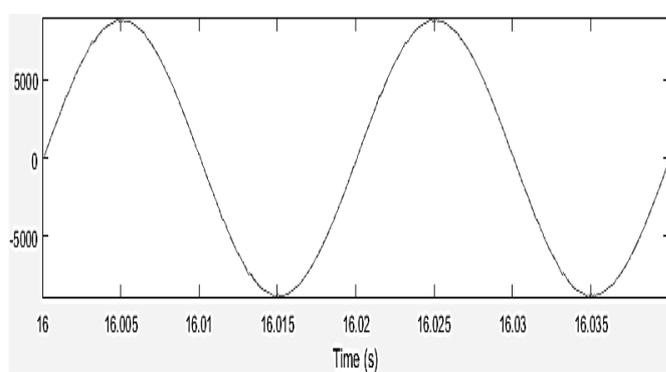


Рис. 14. Осциллограмма напряжений высших гармоник на вводе системы электроснабжения с установленными ПФГ

При включении фильтра второго порядка коэффициент передачи тока во внешнюю сеть будет определяться как (7):

$$F_{12}(j\omega) \approx \frac{-\omega^2 + j\omega RC + 1}{-\omega^2(L + L_c)C + j\omega(R + R_c)C + 1}. \quad (7)$$

Эквивалентная схема на частоте  $k$ -й гармоники представлена на рис. 8.

$Z_c = R_c + j\omega L_c$  – комплексное сопротивление сети со стороны шин, к которым подключена нелинейная нагрузка,  $Z_\phi$  комплексное сопротивление фильтра. Нелинейная нагрузка моделируется источником тока (напряжение внешней сети имеет синусоидальную форму и не содержит ВГ).

При включении фильтра второго порядка коэффициент передачи тока  $k$ -й гармоники в сеть определяется по формуле (8):

$$F_c(j\omega) = \frac{\dot{I}_c}{\dot{I}_r} = \frac{Z_\phi}{Z_\phi + Z_c}. \quad (8)$$

ПФГ является реактивным двухполюсником, входное операторное сопротивление определяется по формуле (9):

$$Z_\phi(s) = H \frac{\prod_{i=1}^n (s^2 + \omega_{zi}^2)}{\prod_{j=1}^n (s^2 + \omega_{pj}^2)} = H \frac{N(s)}{D(s)}. \quad (9)$$

Входная функция LC-двухполюсника равна отношению четного и нечетного полиномов (при  $\omega_{p1} = 0$ ) или отношению нечетного и четного полиномов (при  $\omega_{p1} \neq 0$ ). Из формул (8) и (9) следует, что коэффициент передачи тока  $k$ -й гармоники определяется по формуле (10):

$$F_c(s) = \frac{HN(s)}{HN(s) + D(s)Z_c(s)}. \quad (10)$$

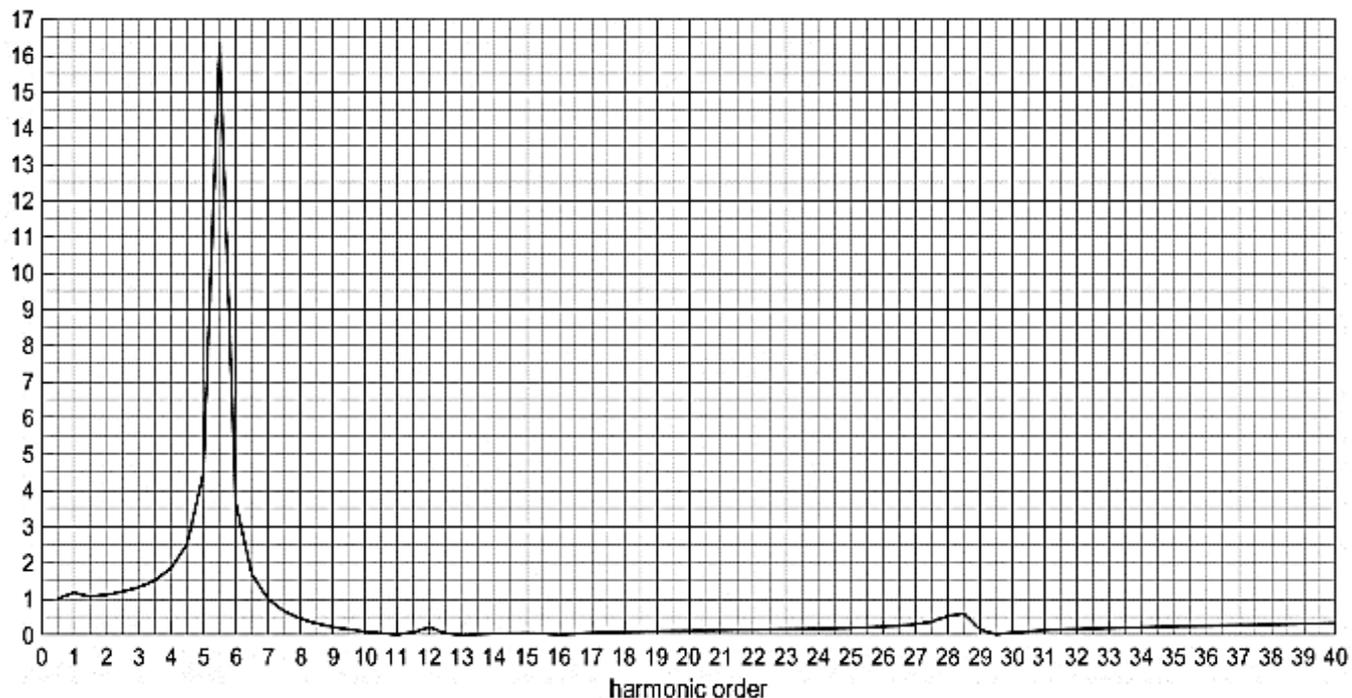


Рис. 15. АЧХ сети с ПФГ, полученная в результате моделирования

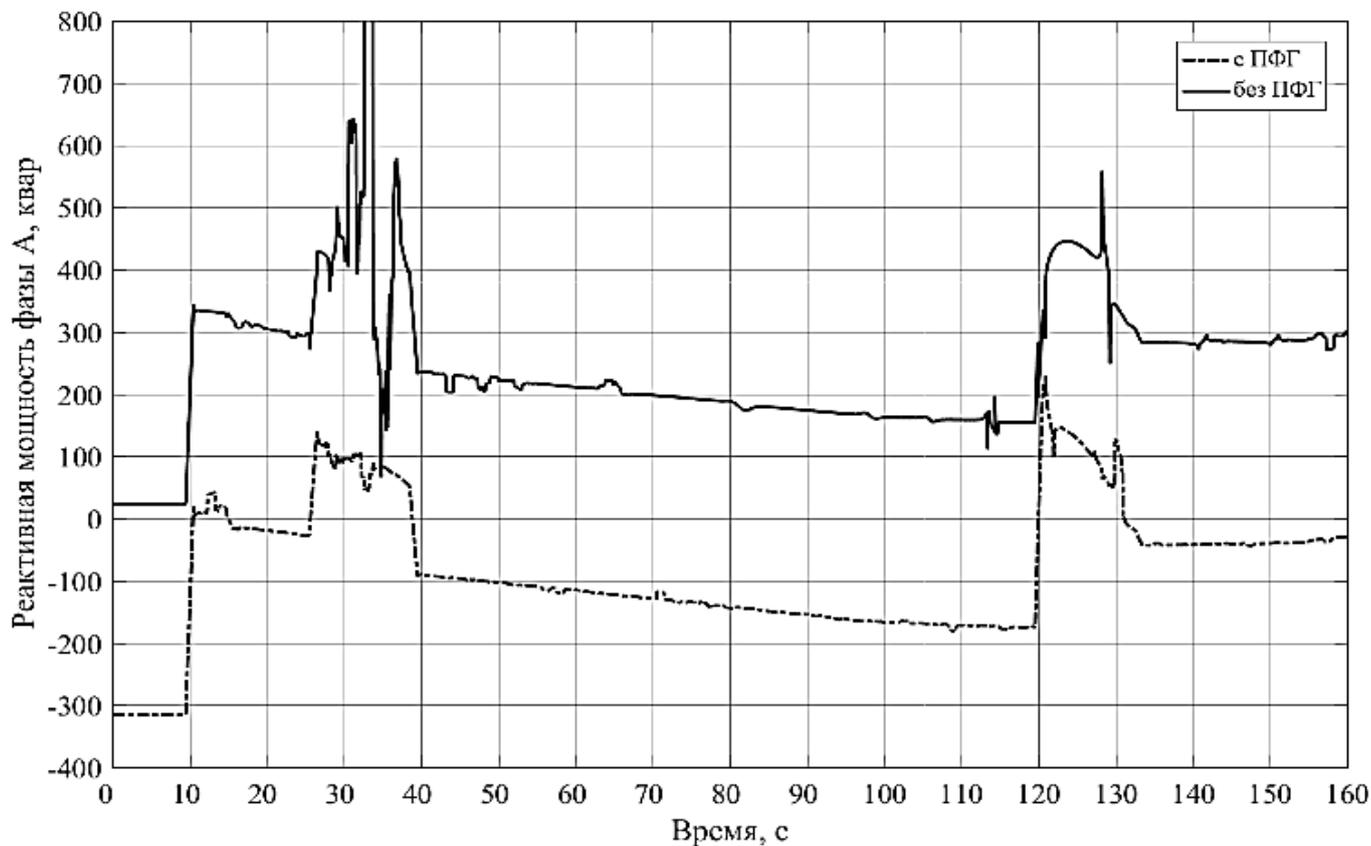


Рис. 16. Результаты моделирования реактивной мощности на вводе системы электроснабжения

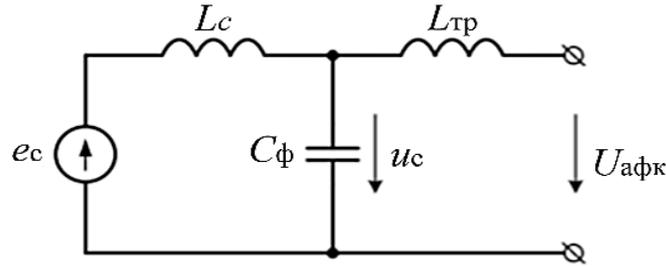


Рис. 17. Схема замещения одной фазы системы «АФК–фильтр–сеть»

Когда ПФГ второго порядка подключен к сети, коэффициент передачи тока во внешнюю сеть определяется по формуле (11):

$$F_{12}(j\omega) = \frac{-\omega^2 LCR + j\omega L + R}{-j\omega^3 L_c - \omega^2 [(L + L_c)RC + LCR_c] + j\omega(L + CRR_c) + R} \quad (11)$$

$$|F_{12}(j\omega)| \rightarrow \min \text{ на частоте } \omega_0 = 1 / \sqrt{L_c C}.$$

Рассмотрим в качестве примера имитационную модель высоковольтной рудничной сети Яковлевского ГОКа для электроснабжения скиповой подъёмной установки с использованием ПФГ (рис. 9).

В качестве фильтрокомпенсирующих устройств в схеме электроснабжения скиповой подъёмной установки применяются 2-а резонансных фильтра для компенсации 11-й и 13-й гармоник, а также широкополосный фильтр 2-го порядка для компенсации ВГ, начиная с 23-й (рис. 10).

Произведя моделирование получим гистограмму токов и напряжений высших гармоник на вводе системы электроснабжения с установленными ПФГ (рис. 11 и 12).

Осциллограмма токов и напряжений высших гармоник на вводе системы электроснабжения с установленными ПФГ представлена на рис. 13 и 14 соответственно.

На рис. 15 показана АЧХ сети с ПФГ. На осях абсцисс — номер гармоники, а на осях ординат — отношение амплитуды после установки фильтра к амплитуде до.

Использование ПФГ позволяет значительно снизить: 11-ю гармонику (550 Гц); 13-ю гармонику (650 Гц); с 23-й гармоники (с 1150 Гц). По полученным данным можно сделать вывод, что наблюдается увеличение гармонических составляющих на 5–6 гармонике (250–300 Гц), на остальных гармониках происходит успешная компенсация гармонических компонентов.

Результаты моделирования реактивной мощности на вводе 6 кВ системы электроснабжения представлены на рис. 16.

Полученные как с ПФГ, так и без него временные диаграммы мощности активного характера различаются лишь значениями дополнительных потерь активной мощности, что обусловлено компенсацией ВГ тока и напряжения.

Исходя из проведённого анализа графиков для реактивной мощности удалось прийти к выводу о том, что на отдельных участках рабочего цикла установки для подъёма наблюдается процесс перекомпенсации и недокомпенсации показателей мощности реактивного характера. Причиной этому является снижение активной мощности, потребляемой электроприводом.

В рудничной сети рекомендуется использовать устройства, позволяющие корректировать частотные характеристики сети и устранять резонансные явления, что практически реализуется с помощью АФГ [1].

Для АФГ удельная ёмкость конденсатора получается в диапазоне  $C_{уд} = (50..100)$  мкФ/кВА, тогда требуемая ёмкость звена постоянного тока АФГ (12):

$$C_d = C_{уд} N_{\sum N, \max} \quad (12)$$

На рис. 17 представлена схема замещения одной фазы системы «АФК–фильтр–сеть» без учета активных сопротивлений сети  $R_c$  и фильтра  $R_\phi$ . На рисунке через  $e_c$  и  $L_c$  обозначены ЭДС и индуктивность сети [4].

Фильтрующие свойства  $L_{мп}$ ,  $C_\phi$  — фильтра определяются передаточной функцией  $W_u(p)$ , как отношение напряжение на выходе фильтра  $U_c(t)$  к напряжению на выходе АФК и  $U_{мп}(t)$  (13–14):

$$W_u(p) = \frac{L_c}{L_c \left( \frac{1}{\omega_u^2} p^2 + 1 \right)}, \quad (13)$$

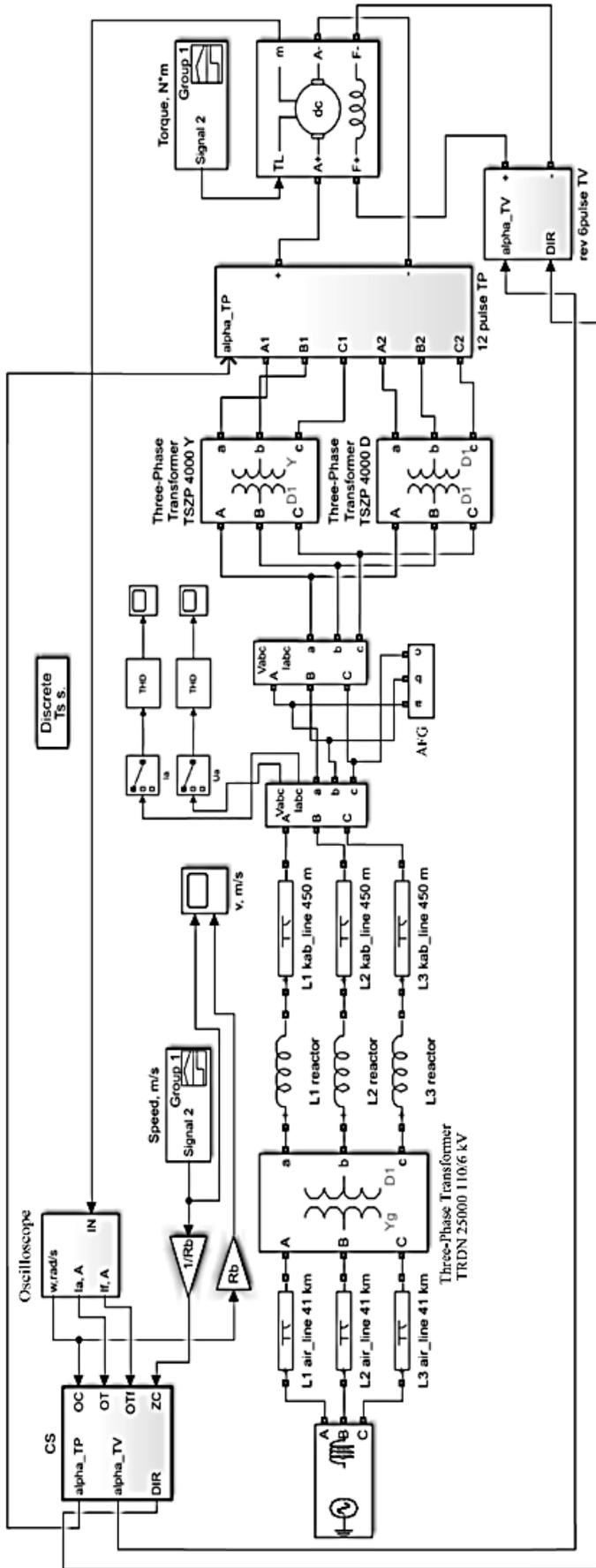


Рис. 18. Имитационная модель высоковольтной рудничной сети скиповой подъёмной установки с установленными АФГ

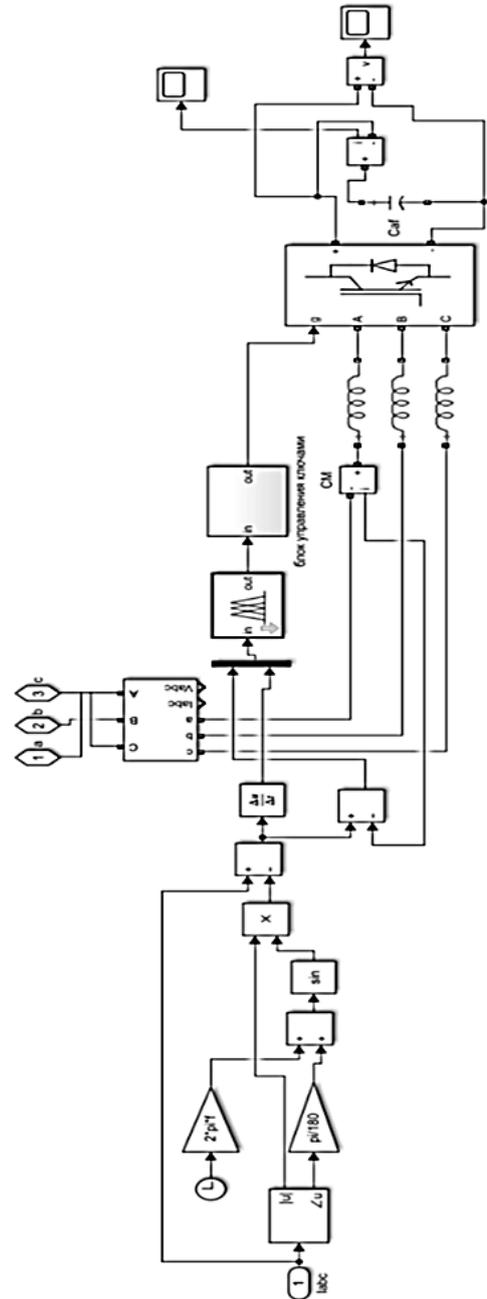


Рис. 19. Модель СУ АФГ собранная в программном комплексе Matlab Simulink с нечёткой логикой

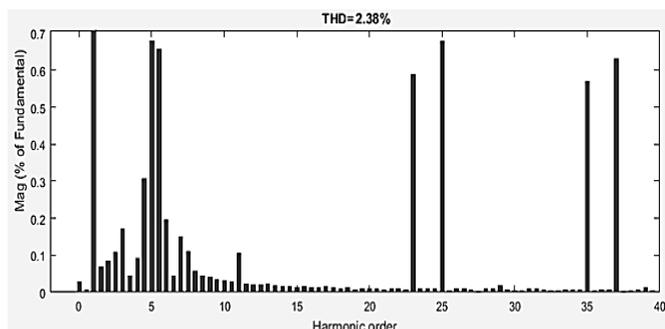


Рис. 20. Гистограмма токов высших гармоник на вводе системы электроснабжения с установленными АФГ

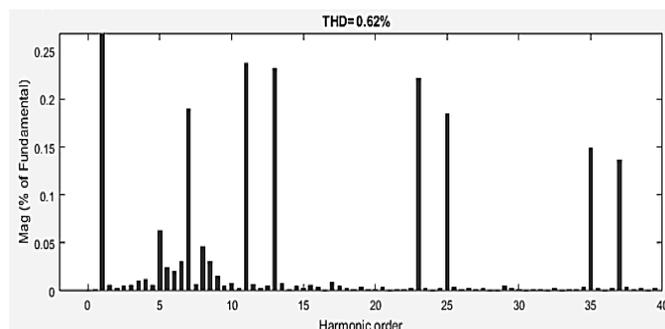


Рис. 21. Гистограмма напряжений высших гармоник на вводе системы электроснабжения с установленными АФГ

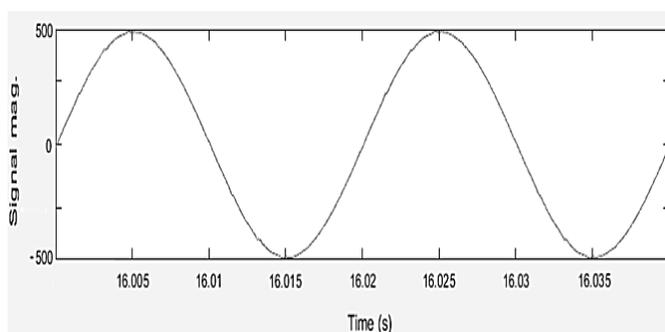


Рис. 22. Осциллограмма токов высших гармоник на вводе системы электроснабжения с установленными АФГ

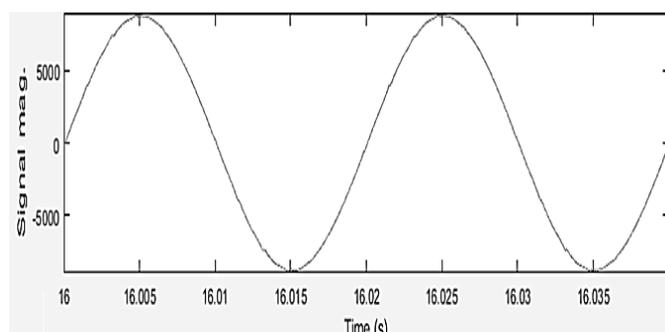


Рис. 23. Осциллограмма напряжений высших гармоник на вводе системы электроснабжения с установленными АФГ

$$\omega_u = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{L_{тр}L_c}{L_{тр} + L_c} - C_\phi\right)}} \quad (14)$$

где  $\omega_u$  — частота резонанса напряжений.

Для эффективного проявления фильтрующих свойств АФГ его частота резонанса напряжений  $\omega_u$  должна быть не менее чем в 3...4 раза меньше минимальной частоты  $\omega_{min}$  переключения силовых ключей (15):

$$\omega_u = \frac{2\pi f_{k.min}}{3...4} \quad (15)$$

Из выражения (13) емкость АФ (16):

$$C_\phi = \left(\frac{L_{тр} + L_c}{L_{тр}L_c}\right) \frac{1}{\omega_u^2} \quad (16)$$

Установка дополнительной индуктивности не требуется, так как установлен трансформатор ТСЗП-630/10 6000/570 В У/Д-11.

Рассмотрим в качестве примера имитационную модель высоковольтной рудничной сети Яковлевского ГОКа для электроснабжения скиповой подъёмной установки с использованием АФГ (рис. 18).

На рис. 19 изображена модель СУ АФГ на базе нечёткой логики выполненная в программном комплексе Matlab Simulink.

Произведя моделирование получим гистограмму токов и напряжений высших гармоник на вводе системы электроснабжения с установленными АФГ (рис. 20 и 21).

Осциллограмма токов и напряжений высших гармоник на вводе системы электроснабжения с установленными АФГ представлена на рис. 22 и 23 соответственно.

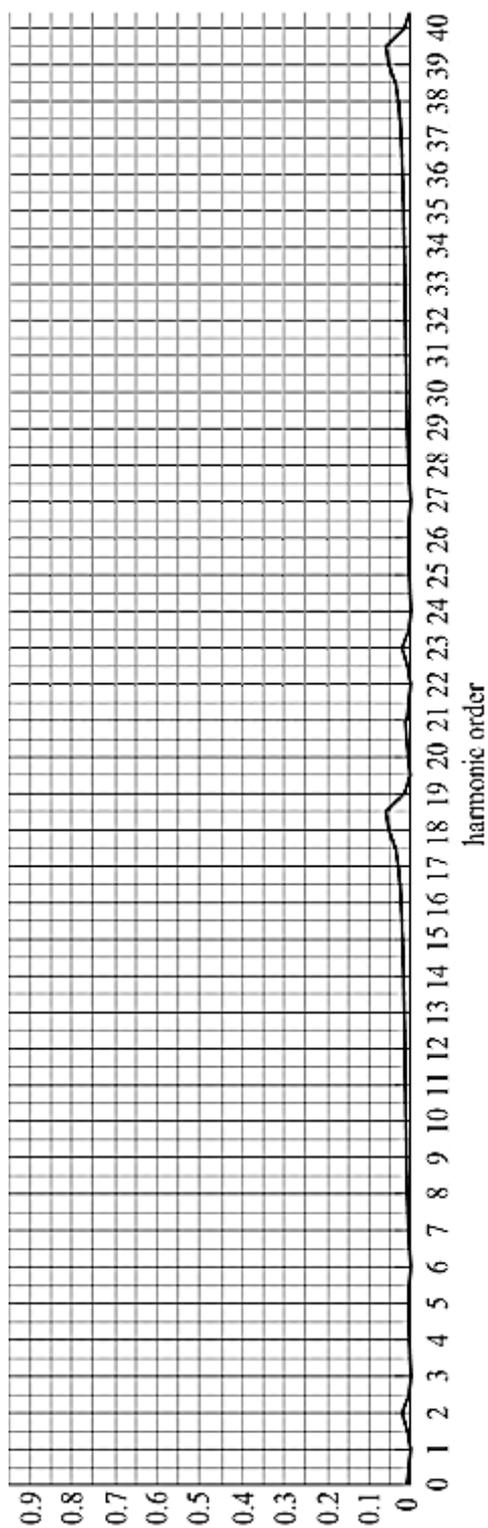


Рис. 24. АЧХ сети с АФГ, полученная в результате моделирования

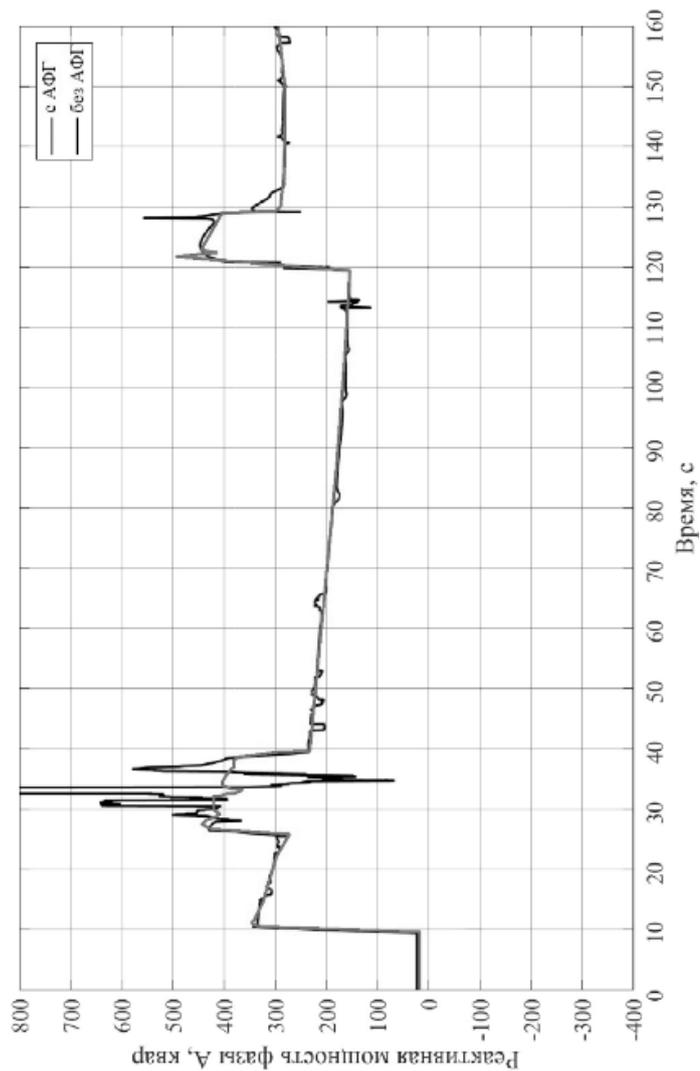


Рис. 25. Результаты моделирования реактивной мощности на вводе системы электроснабжения

На рис. 24 показана АЧХ сети с АФГ. На осях абсцисс — номер гармоники, а на осях ординат — отношение амплитуды после установки фильтра к амплитуде до.

Результаты моделирования реактивной мощности на вводе 6 кВ системы электроснабжения с установленными АФГ представлены на рис. 25.

Результаты моделирования показали эффективность применения АФГ в высоковольтной рудничной сети. Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих по току и напряжению существенно снизились, а формы кривых тока и напряжения в питающей сети приобрели синусоидальную форму, близкую к идеальной. Кроме того, при использовании АФГ «перекомпенсации» реактивной мощности не происходит, условий для возникновения резонансных явлений в сети нет.

## Заключение

Таким образом можно сделать следующие выводы:

- ♦ внедрение АФГ с СУ на базе нечёткой логики позволило существенно снизить все нежелательные ВГ тока и напряжения на вводе системы энергоснабжения скиповой подъёмной установки в высоковольтной рудничной сети.

- ♦ АФГ позволяют корректировать частотные характеристики и устранять резонансные явления.

Несмотря на то, что АФГ обладает большим потенциалом для борьбы с гармониками в сети по сравнению с ПФГ, его главным недостатком на данный момент является его стоимость. Это в первую очередь связано с ценой главных элементов АФГ — полупроводниковых ключей и системы управления. Однако за последние годы технологии настолько шагнули вперед, что стоимость АФГ стала существенно ниже, чем это было в прошлом, но они всё равно стоят дороже ПФГ.

Исходя из того, что ПФГ не позволяют произвести компенсацию в полной мере во всех режимах работы сети, а АФГ большой мощности стоят больших денег, на производстве нашли своё применение ГФГ. Они представляют собой комбинированные устройства, совмещающие в себе активный и пассивный фильтр гармоник. При этом пассивная часть гибридного фильтра настраивается на наиболее ярко выраженные гармоники, а активная часть выполняет роль дополнительного компенсатора гармоник, корректирует частотные характеристики сети и позволяет избежать нежелательных резонансных явлений. В таком случае мощность используемого АФГ значительно снижается, в следствии чего уменьшается и стоимость итогового ГФГ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Akagi H. Active harmonic filters. Proceedings of the IEEE, Vol. 93, NO 12, 2005, pp. 2128–2140.
2. Averbukh M.A., Prasol D.A. «Influence of high-power nonlinear consumers on electric energy losses in mining high-voltage power line» IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, volume 327, issue 5, pp. 052028, 2018.
3. Das J.C. «Passive filters-potentialities and limitations» Transactions on Industrial Electronics, vol. 40, no. 1, pp. 232–241, 2003.
4. Sreeraj E.S. «An active harmonic filter based on one-cycle control» Transactions on Industrial Electronics, no. 8, pp. 3799–3809, 2014.
5. ГОСТ 32144–2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М.: Стандартинформ, 2013. — 16 с.
6. ГОСТ Р 54130–2010. Качество электрической энергии. Термины и определения. — Введ. 2010–11–21. М.: Стандартинформ, 2012. — 96 с.

© Фальков Георгий Александрович ( falkov.ga@bstu.ru ), Попов Сергей Александрович ( popov.gs.bstu@yandex.ru ),

Маньшин Илья Михайлович ( manhin@yandex.ru ), Горлов Александр Семенович ( belgoras@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОГНОЗИРОВАНИИ УСТАЛОГО ПОВЕДЕНИЯ ВОДИТЕЛЕЙ ПРИ ВОЖДЕНИИ АВТОТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

**Фэн Кэцзя**

Московский государственный технический  
университет им. Н.Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет)  
723882109@qq.com

**Афанасьев Геннадий Иванович**

К.т.н., доцент, Московский государственный  
технический университет им. Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)  
gaipcs@bmstu.ru

**Нестеров Юрий Григорьевич**

К.т.н., доцент, Московский государственный  
технический университет им. Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)  
ugn@bmstu.ru

## APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PREDICTION OF TIRED BEHAVIOR OF DRIVERS WHEN DRIVING BY VEHICLES

**K. Fen  
G. Afanasyev  
Yu. Nesterov**

*Summary.* Driving fatigue has become one of the main threats to the safety of drivers and others and has gradually become a global problem that needs to be addressed urgently. The current method for evaluating fatigue driving is generally based on the metrics returned by a combination of software and hardware. For different drivers, the difference between fatigue driving and non-fatigue driving is not obvious, which makes the detection effect of fatigue driving difficult to achieve. This article discusses the application of artificial intelligence to predict fatigue while driving motor vehicles and analyzes its prospects.

*Keywords:* artificial intelligence, fatigue driving, neural network, deep learning.

*Аннотация.* Усталость от вождения стала одним из основных элементов, угрожающих безопасности водителям и других лиц, и постепенно превратилась в глобальную проблему, требующую безотлагательного решения. Для разных водителей разница между усталостным вождением и вождением без усталости не очевидна, что делает эффект усталостного вождения обнаружение труднодостижимым. В этой статье рассматриваются вопросы по применению искусственного интеллекта для прогнозирования усталости при вождении автотранспортными средствами и анализируются его перспективы.

*Ключевые слова:* искусственный интеллект, усталостное вождение, нейронная сеть, глубокое обучение.

## Введение

С развитием общества потребление людей постоянно увеличивается, а также увеличивается время людей на транспорте. Резкий рост количества автомобилей привел к значительному увеличению частоты дорожно-транспортных происшествий, а безопасность дорожного движения стала центром внимания во всем мире. Согласно авторитетным данным, ежегодно в дорожно-транспортных происшествиях погибает в среднем 1,35 млн. человек во всем мире, а экономический ущерб превышает 2,4 трлн. долларов США. После сравнения статистических данных из различных стран было установлено, что вождение в условиях усталости стало основной причиной дорожно-транспортных происшествий.

Усталостное вождение, как правило, означает, что продолжительность управления транспортным средством превышает допустимое значение, и в то же время недостаточно времени для отдыха, что приводит к невозможности концентрации внимания в процессе вождения, и что так же приводит к снижению различных функций в организме: физических и психологических.

Существует много факторов, вызывающих утомляемость вождения, например, слишком долгое вождение, слишком далекое место назначения, недостаток сна или плохое качество сна, слишком монотонный пейзаж, длительное вождение на высокой скорости и другие факторы, которые приводят водителя в состоянии усталости. Например, шум, создаваемый снаружи автомобиля, неподходящий угол сиденья, неправильная

поза сидя и другие факторы приводят водителя в утомленное состояние в процессе вождения. Реакция водителя на усталость также сильно различается по разным причинам. Есть много факторов, которые мешают обнаружению усталости.

В настоящее время технология обнаружения вождения в нетрезвом виде относительно зрелая, а технология обнаружения вождения в состоянии усталости относительно слабая, но существует большая разница между вождением в состоянии усталости и вождением в состоянии алкогольного опьянения.

Есть четкие медицинские индикаторы и химические экспресс-методы. Это все методы обнаружения, которые недоступны для усталостного вождения. Из-за различий между водителями невозможно определить точный критерий осмотра и нет никаких быстрых физических и химических инструментов для прямой проверки умственной и физической работоспособности водителя.

#### Метод определения усталостного поведения при вождении

В настоящее время методы обнаружения усталостного поведения за рулем в основном делятся на два типа, стандартом которых является необходимость контакта с водителем:

Первый — это метод, требующий контакта, который в совокупности называется контактным обнаружением, а другой — это метод обнаружения, не требующий контакта с водителем, который в совокупности называется бесконтактным обнаружением.

#### Метод определения усталости на основе физиологического сигнала от водителя

Ранние исследователи усталостного вождения изучали механизмы и характеристики усталости. С биомедицинской точки зрения, когда водитель утомлен, различные физиологические и химические показатели будут меняться в разной степени. Существует три основных типа:

1. Применение электроэнцефалограмм (ЭЭГ): В 1998 году Keskklund и др. обнаружили, что ЭЭГ будет значительно меняться от бодрствующего состояния к утомленному состоянию, а волна Them постоянно увеличивается, что является основой для обнаружения утомления по сигналам ЭЭГ. Поскольку сигналы ЭЭГ напрямую отражают изменения состояния головного мозга, ЭЭГ считается одним из наиболее эффективных

и надежных физиологических индикаторов человека [5].

2. Применение электрокардиографического сигнала (ЭКГ): ЭКГ может использоваться для измерения формы волны каждого цикла сердца. Когда водитель утомлен, степень утомления водителя можно оценить, анализируя изменения вариабельности сердечного ритма (BCP).
3. Применение миоэлектрического сигнала (ЭМГ): после длительного вождения водителя часто сопровождает скованность мышц или боль в спине из-за высокого напряжения нервов, а сила сокращения мышц уменьшается при утомлении. При расслабленном состоянии разумно судить о том, находится ли водитель в утомленном состоянии, наблюдая за активностью мышц и нервов водителя. Таким образом, ЭМГ реализует обнаружение вождения в состоянии усталости.

Физиологический сигнал от водителя на самом деле может лучше всего отражать его собственное реальное состояние. Этот метод обнаружения обладает сильной защитой от помех, высокой точностью и хорошими характеристиками в реальном времени, но недостатком является то, что при сборе сигналов необходимо контактировать с телом и кожей водителя. Субъективное ощущение от этой схемы отрицательное. Водители считают, что процесс ношения обременительный, контакт с прибором для сбора данных будет вызывать дискомфорт, а длительный контакт с электродами нанесет определенный вред организму. Для исследователей стоимость исследования является высокой. Важным моментом является то, что контактный метод обнаружения усталости может легко мешать нормальному вождению водителя, что может приводить к аварийным ситуациям.

#### Метод определения усталости на основе траектории движения автомобиля

Когда водитель чувствует усталость во время вождения, окружающая среда становится размытой в его глазах, а расслабление мышц ослабляет способность управлять транспортным средством, что приводит к несоответствию части данных данного транспортного средства с данными обычного автомобиля — будет большое отклонение, поэтому исследователи могут использовать траекторию поведения транспортного средства в качестве цели обнаружения для определения состояния усталости водителя. В настоящее время метод обнаружения усталости, основанный на траектории поведения транспортного средства, в основном использует камеры и датчики для отслеживания изменений некоторых данных о траектории поведения

транспортного средства во время вождения, таких как отклонение рулевого колеса, скорость движения и угол съезда с полосы движения [6].

По сравнению с предыдущим методом, этот метод не требует контакта с водителем, поэтому он не будет мешать нормальному вождению водителя. Будут большие различия, так что результаты обнаружения будут необъективными, и этот метод также легко поддается влиянию от внешних условий, таких как погода, характеристики транспортного средства и дорожные условия, а надежность невелика [7]. Важнейшим недостатком является то, что при отклонении траектории движения автомобиля он может уже находиться в опасном состоянии, эффект своевременного напоминания водителю данным методом не достигается, точность обнаружения средняя, а стоимость высокая, в общем случае можно использовать для усталости вспомогательные индикаторы для обнаружения [8].

#### Метод определения усталости на основе характеристик поведения водителя

Когда водитель входит в утомленное состояние из бодрствующего состояния, черты лица и поведенческие характеристики головы значительно изменяются, поэтому целесообразно собирать данные о чертах лица и головы водителя и анализировать их с помощью технологии компьютерного зрения. Метод обнаружения можно разделить на три категории в зависимости от частей тела: обнаружение усталости по признакам глаз, признакам рта и признакам головы.

1. Обнаружение особенностей глаз. Глаз является не только каналом для получения информации извне, но и окном, отражающим психическое состояние человека. Когда водитель не сонный или не полностью без сознания, он обычно бодрствует, быстро моргая, что приводит к увеличению количества морганий. По мере углубления степени утомления сознание водителя постепенно затуманивается, и соответственно уменьшается количество морганий, при переходе в состояние сна количество морганий становится равным нулю.
2. Функция обнаружения рта: когда люди устают, они зевают. Есть много состояний рта, и степень открывания рта в каждом состоянии различна, поэтому зевоту можно отличить от других состояний рта по размеру открывания рта и продолжительности открывания, а затем, вычислив частоту зевоты, определить судить, является ли это усталостью вождения. Тем не менее, функция зевоты варьируется от человека к человеку. Если вы не находитесь в состоянии усталости, вы

должны сопровождаться зеванием. Кроме того, функция обнаружения усталости по рту, как правило, в режиме реального времени и не может использоваться как единственная параметр для оценки усталости [9].

3. Обнаружение особенностей головы: положение головы может указывать на ориентацию лица и направление взгляда человеческих глаз. Когда водитель ведет машину в состоянии бодрствования, его глаза всегда смотрят прямо вперед, поэтому голова в основном поддерживается на определенный угол в пределах диапазона. При проверке окружающих дорожных условий голова может поворачиваться влево и вправо менее чем на 1 секунду, а угол поворота составляет менее 45 градусов [10], или смотреть вверх в зеркало заднего вида, чтобы проверить дорожные условия. При утомлении способность мозга управлять телом ослабевает, и будут частые кивки, но не будет масштабных поворотов головы, тряски и других движений. Следовательно, также целесообразно использовать частоту кивающих движений, вызванных усталостью, для изучения усталостного вождения.

Метод обнаружения также не контактирует с водителем, обладает сильной защитой от помех, высокой точностью, хорошей производительностью в реальном времени и средней стоимостью.

#### Статус и достижения исследований

Поведение водителя за рулем отражает находится ли водитель в опасном состоянии вождения. Сбор данных и извлечение характеристик поведения при вождении является ключевым этапом в обнаружении небезопасного поведения при вождении, поэтому также были разработаны различные методы распознавания. В первые дни некоторые физиологические характеристики, такие как электрокардиограмма (ЭКГ) [11] и электроэнцефалограмма (ЭЭГ) [12], обычно использовались для обнаружения небезопасного поведения водителя, а затем информация анализировалась и оценивалась для определения состояния вождения водителя [13]. Это обычно требует, чтобы водитель носил сенсорное устройство или сборщик сигналов, что серьезно повлияет на впечатления от вождения, поэтому метод обнаружения, основанный на физиологических и психологических источниках информации, трудно применить к реальным сценариям. В последние годы все большее внимание уделяется бесконтактным методам с использованием компьютерного зрения в качестве источника информации. Метод обнаружения небезопасного поведения при вождении с использованием компьютерного зрения в качестве источника информации успешно решает проблему по-

мех водителям, вызванных ношением навязчивого оборудования для сбора сигналов, и в то же время упрощает определение местоположения целевой области, что значительно снижает внешние помехи. Поэтому сбор данных о небезопасном поведении за рулем с помощью метода компьютерного зрения считается наиболее эффективным и прямым методом. В соответствии с различными методами, используемыми в процессе извлечения признаков, его можно разделить на традиционные алгоритмы обнаружения небезопасного поведения при вождении и алгоритмы обнаружения небезопасного поведения на основе глубокого обучения. Результаты исследования, полученные при использовании двух алгоритмов, описаны ниже.

#### Традиционный алгоритм обнаружения небезопасного вождения

Традиционные алгоритмы обнаружения небезопасного поведения при вождении в основном обнаруживают и классифицируют небезопасное поведение при вождении, извлекая такие функции, как функции гистограммы или изменения пикселей.

В 2018 году авторы работы [14] предложили обнаруживать лица с помощью сегментации по цвету кожи, и затем использовать адаптивный алгоритм масштабирования для отслеживания лиц и, наконец, обнаружил небезопасное поведение при вождении, например совершение звонков, с помощью пороговой сегментации по цвету кожи. Была достигнута точность 86%.

В 2019 году авторы работы [15] предложили метод слияния для извлечения PCA-HOG и Relief-PZM из руки, который оценивал движения руки водителя в различных условиях освещения и достигал точности обнаружения небезопасного вождения 94,5%.

#### Алгоритм обнаружения небезопасного вождения на основе глубокого обучения

В последние годы, с ростом вычислительной мощности компьютерного оборудования, глубокое обучение постепенно становится основным направлением исследований в области компьютерного зрения. Методы глубокого обучения могут извлекать глубокие черты изображений и обладают высокой надежностью, поэтому они постепенно становятся предметом исследований.

В 2015 году были применены алгоритмы обнаружения цели авторами работы [16], основанный на сверточной нейронной сети, для обнаружения небезопасного поведения при вождении. Алгоритм Faster-RCNN исполь-

зовался для определения положения руки. Он достиг 86% точности при обнаружении мобильного телефона. Точность обнаружения 90% при обнаружении ручного рулевого колеса, а средняя скорость обнаружения достигла 0,06 кадров в секунду.

В 2016 году был предложен алгоритм обнаружения небезопасного поведения при вождении, основанный на глубоком обучении [17]. Сначала область кожи была извлечена с помощью смешанной модели Гаусса, а затем она была передана в сетевую модель RCNN, чтобы выбрать наиболее репрезентативную область для различения поведения за рулем, и, наконец, достигнута средняя точность обнаружения 97,76% для обнаружения небезопасного поведения при вождении, такого как использование мобильных телефонов.

В 2018 году была осуществлена классификация позиционирования и действий руки водителя с помощью методов глубокого обучения и достигли точности обнаружения 89% и скорости обнаружения 35 кадров в секунду при обнаружении руля, удерживаемого одной рукой [18].

В 2019 году, после определения лица и рук с помощью алгоритма YOLO, в работе [19] использовали сеть AlexNet для извлечения признаков и добились 90% точности обнаружения при распознавании различных типов небезопасного поведения за рулем, таких как например — питье воды.

#### Набор данных водителя

В работе [20] предложили каскадную нейронную сеть для эффективного обнаружения поведения вождения. Во-первых, чтобы уменьшить вычислительную нагрузку, исходные данные были первоначально проверены в сети первого уровня, а затем в модели VGG с глубоким переносом обучения. был использован во втором уровне классификации, и, наконец, точность обнаружения небезопасного поведения при вождении составила 91,3%.

В работе [21] предложили алгоритм обнаружения небезопасного поведения при вождении, основанный на глубоком обучении, который определяет ключевые точки человеческого тела через глубокую сеть отношений и дополнительно оценивает поведение водителя посредством извлечения информации о ключевых точках.

Поскольку скорость работы компьютерного оборудования становится все быстрее и быстрее, метод обнаружения небезопасного поведения при вождении с использованием компьютерного зрения в качестве источника данных постепенно становится предметом

исследований. Хотя традиционный алгоритм обнаружения небезопасного поведения при вождении может обеспечить эффективное обнаружение небезопасного поведения при вождении, на эффект обнаружения легко влияет освещение и смена сцены, а искусственно извлеченные признаки небезопасного поведения при вождении часто выводятся из опыта, что приводит к нарушению эффекта обнаружения. Ограничения конкретных сценариев и низкая скорость обнаружения затрудняют практическое применение. Согласно статистике по литературе, опубликованной CNKI за последние три года, алгоритм обнаружения небезопасного поведения при вождении, использующий компьютерное зрение в качестве источника данных, более склонен к использованию метода глубокого обучения. Метод глубокого обучения может извлекать глубокие функции изображения и может адаптивно изучать основные функции в различных сценариях приложений, а также обладает характеристиками высокой точности обнаружения и высокой надежности [22].

## Заключение

Определенную основу для исследований в этой области заложило большое количество результатов исследований [1–22]. Что касается сбора данных, ранние исследователи извлекли данные о различных поведенческих особенностях, которые могут существовать во время вождения, что удобно для будущих поколений, чтобы они могли выбирать и устанавливать свои собственные наборы данных. Понимая состояние и результаты исследований, можно сделать вывод, что общая тенденция исследований, связанных с обнаружением усталостного вождения, сместилась от первоначального метода контактного к бесконтактному методу обнаружения. Хотя метод контактного обнаружения может напрямую отражать состояние активности мозга, он принесет больше вреда чем пользы из-за проблем с водителями, поэтому будущие исследования усталостного вождения будут больше сосредоточены на методе бесконтактного обнаружения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аладин Д.В. и др. Подход к разработке модели цифрового двойника водителя высокоавтоматизированного транспортного средства на основе гибридной интеллектуальной информационной системы / Аладин Д.В., Горячкин Б.С., Варламов О.О., Афанасьев Г.И., Тимофеев В.Б. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 2–2. С. 34–40.
2. Крутов Т.Ю., Афанасьев Г.И., Нестеров Ю.Г. Оптимизационные методы нейронных сетей для решения задачи бинарной классификации изображений // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. № 5–2. С. 68–76.
3. Галичий Д.А., Афанасьев Г.И., Нестеров Ю.Г. Распознавание эмоций человека при помощи современных методов глубокого обучения // E-Scio. 2021. № 5 (56). С. 316–329.
4. Афанасьев Г.И., Абулкасимов М.М., Сурикова О.В. Алгоритмы оптимизации, используемые в нейронных сетях, и градиентный спуск // Аспирант и соискатель. 2019. № 6 (114). С. 81–86.
5. G. Kecklund, T. Akerstedt. Sleepiness in long distance truck driving: an ambulatory EEG study of night driving. // Ergonomics. 1998. 36. P. 1007–1017
6. Zhang Xibo, Cheng Bo, Feng Ruijia. Real-time detection method of driver's fatigue state based on steering wheel operation. // Journal of Tsinghua University (Natural Science Edition). 2010. 50(7). P. 23–36.
7. Shi SS. Y. Shi, W.Z. Tang, Y.Y. Wang. A Review on Fatigue Driving Detection // ITM Web of Conferences. 2017. 12. P. 14–21.
8. J.Y. Zhang, W.W. Qiu, H.J. Fu, et al. Review of Techniques for Driver Fatigue Detection. // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vols (433–435). P. 928–931.
9. Wu Yaxuan, Li Wenxuan, Shi Guosheng, et al. Research Review of Fatigue Driving Detection Technology // Industrial Control Computer. 2011. 24(8). P. 44–46.
10. Huang Xiuqing. Research on Driver Fatigue Detection Based on Machine Vision and Learning // Wuhan: Wuhan Engineering University. 2014. P. 5–14.
11. Simon M., Schmidt E.A., Kincses W.E. EEG alpha spindle measures as indicators of driver fatigue under real traffic conditions // Clinical Neurophysiology. 2011, 122(6). P. 1168–1178.
12. Lee S.J., Jo J., Jung H.G. Real-Time gaze estimator based on driver's head orientation for forward collision warning system. // IEEE Transactions on Intelligent Systems. 2011. 12(1). P. 254–267.
13. Xu Wenxiang, Zhao Xiaohua, Du Hongji. Research on distracted driving psychological response based on sample entropy. // Traffic Engineering. 2019. 19(S1). P. 59–64.
14. Luo Wenjie. Research on Unsafe Driving Behavior Detection Algorithm Based on Machine Vision // Changsha: Hunan University. 2018. 100 p.
15. Cheng Wendong, Ma Yong, Wei Qingyang. Gesture recognition method based on image feature decision fusion in driver's mobile phone conversation behavior. // Chinese Journal of Transportation Engineering. 2019. 19(04). P. 171–181.
16. T. Hoang, Ngan Le, Y. Zheng. Multiple Scale Faster-RCNN Approach to Driver's Cell-Phone Usage and Hands on Steering Wheel Detection. // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. IEEE: Piscataway. 2015. P. 35–43.
17. Yan S., Teng Y., Smith J.S. Driver behavior recognition based on deep convolutional neural networks. // Changsha: International Conference on Natural Computation. IEEE: Piscataway. 2016. P. 636–641.
18. Siddharth, Rangesh A., Ohn-Bar E., Trivedi M.M. Driver Hand Localization and Grasp Analysis: A Vision-based Real-time Approach. // International Conference on Intelligent Transportation Systems. IEEE. Piscataway. 2018. P. 2545–2550.

19. Eraqi H.M., Abouelnaga Y., Saad M.H., et al. Driver Distraction Identification with an Ensemble of Convolutional Neural Networks. // Journal of advanced transportation. 2019(06). P. 1–12.
20. Chen Jun, Zhang Li, Zhou Bo. Detection of Driver Distracted Driving Behavior Based on Cascaded Convolutional Neural Networks. // Science Technology and Engineering. 2020. 20(14). P. 5702–5708.
21. Jiang Yukai, Zhou Kang, Li Zhiwei. Identification method of driver violations based on deep neural network // Computer Knowledge and Technology. 2020. 16(12). P. 198–200.
22. Zeng Yiming, Hu Yu, Han Yinhe, Li Xiaowei. Semi-supervised monocular image depth estimation using partial order relation of sparse point cloud. // Journal of Computer-Aided Design and Graphics. 2019. 31(11). P. 2038–2046.

© Фэн Кэцзя ( 723882109@qq.com ), Афанасьев Геннадий Иванович ( gaipcs@bmstu.ru ),

Нестеров Юрий Григорьевич ( ugn@bmstu.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

# РАЗРАБОТКИ ЦЕНТРА КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ ПО ТЕХНОЛОГИЯМ ХРАНЕНИЯ И АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ НА БАЗЕ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

## DEVELOPMENTS OF THE BIG DATA STORAGE AND ANALYSIS CENTER ON THE BASIS OF THE LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY IN THE FIELD OF NATURAL LANGUAGE PROCESSING TECHNOLOGIES

**E. Shitov**  
**D. Rakov**  
**I. Tereshenko**  
**E. Kovrova**  
**T. Voronin**

*Summary.* The article is devoted to the analysis of the developments of the Big Data Storage and Analysis Center on the basis of the Lomonosov Moscow State University in terms of natural language processing from the point of their practical potential for solving a wide range of problems, incl. from the point of the prospects for the digital transformation of the national economy of the Russian Federation and the role of natural language processing technologies in this process. The developments of the Big Data Storage and Analysis Center in the field of natural language processing are presented, the analysis of these developments is carried out in terms of the algorithm of their work, technologies in the basis, positive effects and advantages of the implementation, the current UGT. The problems, that can be solved by the practical application of these developments, incl. as part of the digital transformation of the economy of the Russian Federation, are highlighted.

*Keywords:* artificial intelligence, natural language processing, machine learning, text recognition, NLP, BERT, OCR.

**Шитов Егор Александрович**

Ведущий специалист Центра компетенций НТИ по направлению «Технологии хранения и анализа больших данных», МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва  
egor.shitov@digital.msu.ru

**Раков Дмитрий Александрович**

Ведущий специалист Центра компетенций НТИ по направлению «Технологии хранения и анализа больших данных», МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва  
rakov.d@digital.msu.ru

**Терещенко Игорь Александрович**

Ведущий специалист Центра компетенций НТИ по направлению «Технологии хранения и анализа больших данных», МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва  
igor.tereshchenko@digital.msu.ru

**Коврова Екатерина Сергеевна**

Ведущий специалист Центра компетенций НТИ по направлению «Технологии хранения и анализа больших данных», МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва  
lubomirova.ek@digital.msu.ru

**Воронин Тимофей Валерьевич**

Ведущий специалист Центра компетенций НТИ по направлению «Технологии хранения и анализа больших данных», МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва  
voronin@digital.msu.ru

*Аннотация.* Настоящая статья посвящена анализу разработок Центра компетенций НТИ по направлению «Технологии хранения и анализа больших данных» на базе МГУ имени М.В. Ломоносова в части обработки естественного языка с точки зрения их практического потенциала для решения широкого круга задач, в т.ч. с точки зрения перспектив цифровой трансформации национальной экономики Российской Федерации и роли технологий обработки естественного языка в данном процессе. Представлены разработки Центра НТИ в сфере обработки естественного языка, проведен анализ указанных разработок с точки зрения алгоритма их работы, технологий в основе, положительных эффектов и преимуществ внедрения, текущего УГТ. Выделены проблемы, которые может решить практическое применение данных разработок, в т.ч. в рамках цифровой трансформации экономики Российской Федерации.

*Ключевые слова:* искусственный интеллект, обработка естественного языка, машинное обучение, распознавание текстов, NLP, BERT, OCR.

**В** условиях цифровизации современного мира одним из ключевых ресурсов становятся цифровые технологии. Согласно Глобальному индексу инноваций 2021 г. Российская Федерация занимает 45-е место в мире и 29-е в Европе по уровню цифровой трансформации [10]. Одной из причин заметного отставания Российской Федерации от мировых цифровых лидеров является неравномерное проникновение цифровых технологий в различные отрасли экономики. Для сокращения данного отставания разработаны и реализуются программы, направленные на повышение уровня цифровой трансформации страны. При этом особое внимание уделяется «сквозным» цифровым технологиям, в частности, технологиям искусственного интеллекта, среди которых выделяют технологии компьютерного зрения, распознавания и синтеза речи, обработки естественного языка (NLP), создания рекомендательных систем и интеллектуальных бизнес-систем поддержки принятия решений [2]. Настоящая статья посвящена разработкам в области технологий обработки естественного языка, которые имеют стратегическое значение не только с точки зрения технического прогресса и инноваций, но и для дальнейшего развития цифровой экономики Российской Федерации.

Целью работы является анализ разработок Центра компетенций НТИ по большим данным на базе МГУ имени М.В. Ломоносова (далее — Центр НТИ) в части распознавания текстов и обработки естественного языка с точки зрения их практического потенциала для решения широкого круга задач в сфере анализа документов и управления большими данными.

Для выполнения обозначенной цели необходимо:

- ◆ представить разработки Центра НТИ в сфере распознавания текстов и обработки естественного языка;
- ◆ проанализировать указанные разработки с точки зрения алгоритма их работы, технологий в основе, эффектов и преимуществ внедрения, текущего УГТ;
- ◆ показать, какие проблемы, в т.ч. в сфере анализа документов и управления большими данными, может решить практическое внедрение данных разработок.

В 2020–2022 гг. в сфере внимания Центра НТИ находились следующие разработки в сфере распознавания текстов и обработки естественного языка:

- ◆ умный правовой помощник для предпринимателей (далее — «Умный помощник»);
- ◆ нейронная сеть, способная извлекать из судебных актов ключевые данные;
- ◆ сервис автоматизированного анализа документов.

Данные разработки входят в число результатов проекта «Средства интеллектуального анализа больших массивов текстов», поддерживаемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации по Договору МГУ имени М.В. Ломоносова с Фондом поддержки проектов Национальной технологической инициативы от 15.12.2021 № 70–2021–00252.

## 1. УМНЫЙ ПОМОШНИК

В соответствии с постановлением Правительства Москвы от 22.02.2012 № 66-ПП «О Штабе по защите прав и законных интересов субъектов инвестиционной и предпринимательской деятельности в городе Москве, а также иных рабочих органах Правительства Москвы в сфере инвестиционной и предпринимательской деятельности» [7] в городе Москве создан и функционирует Штаб по защите прав и законных интересов субъектов инвестиционной и предпринимательской деятельности города Москвы (далее — Штаб) [5] и Проектный офис по улучшению инвестиционного климата в городе Москве.

Целями деятельности Штаба являются [7]:

- ◆ создание благоприятных условий для ведения инвестиционной и предпринимательской деятельности;
- ◆ развитие и защита конкуренции;
- ◆ обеспечение гарантий государственной защиты прав и законных интересов субъектов инвестиционной и предпринимательской деятельности в городе Москве.

В качестве ключевых задач Штаба в сфере инвестиционной и предпринимательской деятельности в городе Москве можно выделить следующие (включая, но не ограничиваясь) [6]:

- ◆ развитие предпринимательской деятельности;
- ◆ выработка антикоррупционных мер в данной сфере;
- ◆ устранение административных барьеров;
- ◆ содействие сокращению избыточного вмешательства органов исполнительной власти (далее — ОИВ) города Москвы в деятельность хозяйствующих субъектов;
- ◆ координация работы межведомственных комиссий при префектурах административных округов города Москвы по устранению административных барьеров при развитии предпринимательства;
- ◆ оказание правовой поддержки предпринимателям в целях защиты их прав и законных интересов.

Основными причинами обращений предпринимателей в Штаб являются две проблемы:

- ◆ набор типовых ошибок в комплектах документов, подаваемых предпринимателями в ОИВ;
- ◆ административные барьеры со стороны ОИВ.

Для решения данных проблем и снижения количества обращений в Штаб Центра НТИ разработал решение «Умный помощник», который на основании переписки с предпринимателем формирует ответ на правовые вопросы.

«Умный помощник» умеет распознавать входящий запрос, запрашивать необходимый перечень документов с определением их типов и ключевых данных, проверять полноту комплекта документов и наличие потенциальных проблем, автоматически формирует проект ответного документа с возможностью оценки правовых рисков.

Этапы алгоритма работы «Умного помощника»:

- ◆ определение темы обращения;
- ◆ наличие отказа от ФОИВ или общая проверка (распознавание поводов для отказа);
- ◆ формирование перечня необходимых документов (с помощью заранее сформированных и загруженных юристами в помощник чек-листов);
- ◆ распознавание графических документов;
- ◆ проверка комплектности пакета документов/ выявленных проблем;
- ◆ формирование рекомендаций для устранения недостатков/ автоматическое заполнение заявления.

Проблемы, которые помогает смягчить/ нивелировать внедрение решения:

- ◆ массовые отказы со стороны ОИВ из-за неполного комплекта документов/ комплекта с ошибками, поданного предпринимателями;
- ◆ высокая нагрузка сотрудников ОИВ, вынужденных заниматься неполными/ неправильно оформленными комплектами документов;
- ◆ низкая операционная эффективность сотрудников ОИВ;
- ◆ отсутствие быстрой и квалифицированной поддержки административно-юридического характера для предпринимателей;
- ◆ риск возникновения административных барьеров/ нарушений законодательства со стороны ОИВ;
- ◆ замедленное развитие бизнеса.

Эффекты от внедрения решения [1]:

- ◆ проверка документов на полноту и правильность, а также на наличие типовых ошибок, что позволяет предпринимателям избежать отказа или приостановления решения по поданному заявлению;

- ◆ снижение нагрузки сотрудников Штаба, которым остается ручная обработка нетиповых запросов;
- ◆ повышение их операционной эффективности до 80%;
- ◆ обеспечение предпринимателей быстрой и квалифицированной поддержкой;
- ◆ уменьшение риска возникновения нарушений законодательства и связанных с этим расходов;
- ◆ стимулирование развитие бизнеса.

В основе решения лежат:

- ◆ масштабируемая архитектура на реляционных базах, новые кейсы добавляются на уровне «конструктора»;
- ◆ полноценный бек-энд, позволяющий разместить решение на любой платформе, включая мессенджеры;
- ◆ машинное обучение на каждом этапе (NLP-практики для классификации и верификации документов, а также для их графического распознавания).

Преимуществами решения с технической точки зрения являются:

- ◆ классификация визуально неотличимых документов (устав, договор, накладная и т.п.);
- ◆ отделение подписи от рукописного текста (в части распознавания графических атрибутов);
- ◆ масштабируемость.

В настоящее время решение находится на стадии УГТ 4: создан прототип, который прошел проверку на примере коммуникации Росреестра и предпринимателей, получивших от ведомства отказы или приостановления запросов. За разработку прототипа команда Центра НТИ получила премию Мэра Москвы «Лидеры цифровой трансформации» по треку «Искусственный интеллект в городе» [3]. Прототип нуждается в дальнейшей доработке до стадии пилотирования для дальнейшего использования в сфере деятельности Штаба и Департамента предпринимательства и инновационного развития города Москвы.

## 2. Нейронная сеть для извлечения ключевой информации из судебных актов

При решении задачи по формированию базы знаний и информации в части правоприменительной практики в отношении субъектов малого и среднего предпринимательства (далее — МСП) на хакатоне Audithon 2021 Счетной палаты Российской Федерации командой Центра НТИ был проведен «анализ влияния размеров штрафов, которые назначались предпринимателям за их деятельность без регистрации, на ко-

личество субъектов МСП и их оборот в отдельных регионах Российской Федерации (Москве, Республике Башкортостан, Ульяновской области)» [4]. Для решения данной задачи была создана нейронная сеть, которая с помощью алгоритмов распознавания выделила ключевые элементы из 1,5 тысяч загруженных в нее судебных решений, в т.ч.:

- ◆ истец;
- ◆ ответчик;
- ◆ статья, по которой вынесено решение;
- ◆ дата вынесения решения;
- ◆ суть решения (резольтивная часть);
- ◆ размер штрафа;
- ◆ субъект/ город, в котором рассматривалось дело.

Этапы алгоритма работы модели:

- ◆ распознавание входящего графического документа;
- ◆ выделение в нем ключевых элементов;
- ◆ формирование исходящего документа с разметкой.

Проблемы, которые помогает смягчить/ нивелировать внедрение решения:

- ◆ существенные временные затраты на поиск нужной информации в решении суда (особенно при необходимости массовой обработки десятков и сотен решений);
- ◆ отсутствие статистики/ неполные данные по показателям, имеющимся в судебных решениях;
- ◆ наличие скрытых взаимосвязей между выделенными показателями и статистикой правоприменительной практики;
- ◆ отсутствие моделей влияния жесткости политики субъекта Российской Федерации на показатели развития МСП.

Эффекты от внедрения модели:

- ◆ быстрое выделение ключевой информации в решении суда;
- ◆ возможность формирования статистических баз данных по распознаваемым параметрам (например, по назначенным штрафам и прочим санкциям в отношении субъектов МСП и физических лиц, по количеству уникальных ответчиков и проч.);
- ◆ выявление корреляций между найденными показателями и статистикой правоприменительной практики, в т.ч. полученной на основе анализа судебных актов;
- ◆ моделирование влияния жесткости политики субъекта Российской Федерации на показатели развития МСП.

В основе модели лежат:

- ◆ NER-технологии для анализа и структуризации текстов на естественном языке;
- ◆ обучение нейронной сети на основе BERT-архитектуры;
- ◆ механизмы графического распознавания текстов (OCR).

Преимуществами модели с технической точки зрения являются:

- ◆ возможность автоматизированной обработки судебных актов;
- ◆ возможность проведения дальнейшего обучения нейронной сети для улучшения машинного понимания судебных актов;
- ◆ масштабируемость.

В настоящее время решение находится на стадии УГТ 4: создан прототип решения, который прошел тестирование в условиях хакатона Audithon 2021.

### 3. Сервис автоматизированного анализа документов

Согласно постановлению Правительства Москвы № 741-ПП от 04.10.2017 «Об утверждении порядков предоставления субсидий из бюджета города Москвы в целях государственной поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства и признании утратившим силу постановления Правительства Москвы от 15.09.2015 № 587-ПП» [8] для подачи заявки на субсидию предпринимателю необходимо прикрепить к заявке набор заверенных документов. С помощью алгоритмов распознавания сервис, разработанный командой Центра НТИ [9], анализирует, были ли поданы необходимые документы и нет ли в них ошибок, сравнивая каждый документ с «идеальным» документом, необходимым для успешного рассмотрения заявки. При наличии ошибок или неполного комплекта документов сервис сформирует соответствующие рекомендации.

Этапы алгоритма работы сервиса:

- ◆ определение темы обращения;
- ◆ общая проверка (распознавание поводов для отказа);
- ◆ распознавание графических документов;
- ◆ проверка выявленных проблем;
- ◆ формирование рекомендаций для устранения недостатков (зеленый цвет — все хорошо, в случае отсутствия печати/ подписи и проч. недочеты будут выделены соответствующими маркерами).

Проблемы, которые помогает смягчить/ нивелировать внедрение решения:

Таблица 1. Сводная информация по разработкам Центра компетенций НТИ по технологиям хранения и анализа больших данных на базе МГУ имени М.В. Ломоносова в сфере распознавания текстов и обработки естественного языка

Название разработки	Технологии в основе	Эффекты	УГТ
Умный помощник	<ul style="list-style-type: none"> <li>масштабируемая архитектура на реляционных базах;</li> <li>бек-энд для размещения на любой платформе, включая мессенджеры;</li> <li>NLP-практики для классификации и верификации документов, а также для их графического распознавания</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>снижение числа отказов или приостановлений решений по поданному заявлению;</li> <li>снижение нагрузки на сотрудников Штаба;</li> <li>обеспечение предпринимателей быстрой и квалифицированной поддержкой;</li> <li>уменьшение риска возникновения нарушений законодательства и связанных с этим расходов;</li> <li>повышение операционной эффективности до 80%;</li> <li>стимулирование развитие бизнеса</li> </ul>	4
Нейронная сеть для извлечения ключевой информации из судебных актов	<ul style="list-style-type: none"> <li>NER-технологии обработки текстов на естественном языке;</li> <li>обучение нейронной сети на основе BERT-архитектуры;</li> <li>механизмы графического распознавания текстов (OCR)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>выделение ключевой информации в решении суда;</li> <li>возможность формирования статистических баз данных по распознаваемым параметрам;</li> <li>моделирование влияния жесткости политики субъекта Российской Федерации на показатели развития МСП</li> </ul>	4
Сервис автоматизированного анализа документов	<ul style="list-style-type: none"> <li>принципы transfer learning;</li> <li>передовые модели машинного обучения нейронных сетей (BERT, YOLO, Inception);</li> <li>механизмы графического распознавания текстов (OCR);</li> <li>обработка текстов на естественном языке (NLP)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>снижение числа отказов или приостановлений решений по заявлениям на предоставление субсидии;</li> <li>обеспечение предпринимателей быстрой и квалифицированной поддержкой;</li> <li>увеличение доли предоставленных субсидий;</li> <li>уменьшение риска возникновения нарушений законодательства и связанных с этим расходов;</li> <li>стимулирование развитие бизнеса</li> </ul>	4

Источник: составлено авторами

- ◆ массовые отказы со стороны ОИВ в предоставлении субсидии из-за ошибок в документах, поданных предпринимателями;
- ◆ высокая нагрузка сотрудников ОИВ, вынужденных заниматься неполными/ неправильно оформленными комплектами документов;
- ◆ отсутствие быстрой и квалифицированной поддержки административно-юридического характера для предпринимателей;
- ◆ низкая доля предоставленных субсидий относительно общего числа поданных заявок;
- ◆ риск возникновения административных барьеров/ нарушений законодательства со стороны ОИВ;
- ◆ замедленное развитие бизнеса.

Эффекты от внедрения сервиса:

- ◆ проверка документов на наличие типовых ошибок, что позволяет предпринимателям избежать отказа или приостановления решения по поданному заявлению на предоставление субсидии;
- ◆ снижение нагрузки на сотрудников ОИВ, обрабатывающих заявления на предоставление субсидии;
- ◆ обеспечение предпринимателей быстрой и квалифицированной поддержкой;
- ◆ увеличение доли предоставленных субсидий (конечная цель: одна заявка — одна субсидия);
- ◆ уменьшение риска возникновения нарушений законодательства и связанных с этим расходов;
- ◆ стимулирование развитие бизнеса.

В основе сервиса лежат:

- ◆ принцип transfer learning;
- ◆ передовые модели машинного обучения нейронных сетей (BERT, YOLO, Inception);
- ◆ механизмы графического распознавания текстов (OCR);
- ◆ обработка текстов на естественном языке (NLP).

Преимуществами сервиса с технической точки зрения являются:

- ◆ отделение подписей и печатей от рукописного текста (в части распознавания графических атрибутов);
- ◆ масштабируемость.

В настоящее время решение находится на стадии УГТ 4: создан прототип решения, который проходит проверку на портале i.moscow Московского инновационного кластера.

Сводная информация по всем трем разработкам Центра НТИ представлена в таблице 1.

Представленные разработки имеют потенциал применения в сфере государственного управления, автоматизации, структуризации и оперативного анализа данных и будут способствовать развитию цифровой экономики Российской Федерации. Таким образом, важной задачей становится их доработка, анализ наилучшего опыта их практического применения и дальнейшее внедрение, и масштабирование в различных отраслях.

#### Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках реализации программы Центров компетенций Национальной технологической инициативы на базе Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (договор о предоставлении средств юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю на безвозмездной и безвозвратной основе в форме гранта, источником финансового обеспечения которых полностью или частично является субсидия, предоставленная из федерального бюджета № 70–2021–00252 от 15.12.2021).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В Центре НТИ по большим данным МГУ разрабатываются NLP-решения по распознаванию документов // Официальный сайт Центра компетенций НТИ по технологиям хранения и анализа больших данных на базе МГУ имени М.В. Ломоносова. URL: <https://bigdata.msu.ru/news/202/> (дата обращения: 24.11.2022)
2. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Нейротехнологии и искусственный интеллект» // Официальный сайт Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019ii.pdf> (дата обращения: 24.11.2022)
3. Команда Центра компетенций НТИ по большим данным МГУ выиграла премию мэра Москвы в размере миллиона рублей // Официальный сайт Центра компетенций НТИ по технологиям хранения и анализа больших данных на базе МГУ имени М.В. Ломоносова. URL: <https://bigdata.msu.ru/news/143/> (дата обращения: 24.11.2022)
4. Команда Центра компетенций НТИ по большим данным МГУ — победитель хакатона Audithon 2021 Счетной палаты РФ // Официальный сайт Центра компетенций НТИ по технологиям хранения и анализа больших данных на базе МГУ имени М.В. Ломоносова. URL: <https://bigdata.msu.ru/news/190/> (дата обращения: 24.11.2022)
5. Официальный сайт Штаба по защите прав и законных интересов субъектов инвестиционной и предпринимательской деятельности города Москвы // URL: <http://shtab.mos.ru> (дата обращения: 24.11.2022)

6. Положение о Штабе по защите прав и законных интересов субъектов инвестиционной и предпринимательской деятельности в городе Москве (приложение 1 к Постановлению Правительства Москвы от 22.02.2012 № 66-ПП) // Официальный сайт Мэра Москвы. URL: <https://www.mos.ru/dipp/documents/normativnye-pravovye-akty-goroda-moskvy/view/243343220/> (дата обращения: 24.11.2022)
7. Постановление Правительства Москвы от 22.02.2012 № 66-ПП «О Штабе по защите прав и законных интересов субъектов инвестиционной и предпринимательской деятельности в городе Москве, а также иных рабочих органах Правительства Москвы в сфере инвестиционной и предпринимательской деятельности» // Официальный сайт Мэра Москвы. URL: <https://www.mos.ru/dipp/documents/normativnye-pravovye-akty-goroda-moskvy/view/243343220/> (дата обращения: 24.11.2022)
8. Постановление Правительства Москвы № 741-ПП от 04.10.2017 «Об утверждении порядков предоставления субсидий из бюджета города Москвы в целях государственной поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства и признании утратившим силу постановления Правительства Москвы от 15.09.2015 № 587-ПП» // Официальный сайт Мэра Москвы. URL: <https://www.mos.ru/authority/documents/doc/37071220/> (дата обращения: 24.11.2022)
9. Сервис по распознаванию документов, созданный при участии ЦК НТИ по большим данным МГУ, поможет бизнесу получить субсидии // Официальный сайт Центра компетенций НТИ по технологиям хранения и анализа больших данных на базе МГУ имени М.В. Ломоносова. URL: <https://bigdata.msu.ru/news/191/> (дата обращения: 24.11.2022)
10. Global Innovation Index 2021 // URL: [https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo\\_pub\\_gii\\_2021.pdf](https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2021.pdf) (дата обращения: 24.11.2022)

---

© Шитов Егор Александрович ( [egor.shitov@digital.msu.ru](mailto:egor.shitov@digital.msu.ru) ), Раков Дмитрий Александрович ( [rakov.d@digital.msu.ru](mailto:rakov.d@digital.msu.ru) ),  
Терещенко Игорь Александрович ( [igor.tereshchenko@digital.msu.ru](mailto:igor.tereshchenko@digital.msu.ru) ), Коврова Екатерина Сергеевна ( [lubomirova.ek@digital.msu.ru](mailto:lubomirova.ek@digital.msu.ru) ),  
Воронин Тимофей Валерьевич ( [voronin@digital.msu.ru](mailto:voronin@digital.msu.ru) ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

# ЧАСТОТА И ПРИЧИНЫ ОСЛОЖНЕНИЙ ОСТЕОТОМИИ ВЕТВЕЙ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ У ПАЦИЕНТОВ С НИЖНЕЙ МАКРОГНАТИЕЙ И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

## FREQUENCY AND CAUSES OF COMPLICATIONS OF OSTEOTOMY OF THE LOWER JAW IN PATIENTS WITH LOWER MACROGNATHIA AND METHODS FOR THEIR ELIMINATION

**A. Abdukadyrov**  
**F. Kurbanov**  
**D. Abdukadyrov**  
**F. Mukhamedova**

*Summary.* The article is devoted to the complications of surgical treatment of lower macrognathia using vertical osteotomy of the mandibular branches. The material for the study was the analysis of the results of treatment of 92 adult patients with lower macrognathia. Of the total number of 76 patients, in order to identify errors and complications of the preoperative, interoperative and immediate postoperative periods, a retrospective analysis of the case histories of patients treated in the clinic of maxillofacial surgery of the CRPKMR from 1992–2010 was carried out.

Also, in order to identify complications in the long-term after operations, a clinical and radiological examination of 16 patients who reapplied, who underwent vertical osteotomy of the mandibular branches during this period, was carried out. The age of the patients ranged from 18 to 58 years. Of these, 58 women and 34 men. The results of the studies showed that complications occur during the operation in 3.25%, in the immediate postoperative period in 23.9% and in the long-term after the operation in 15.1% of patients and much less than in various variants of planar osteotomies of the mandibular branches.

The reasons for these complications are errors in outpatient preparation with the participation of related specialists, shortcomings in a comprehensive examination, performing an osteotomy method, and postoperative management of patients with lower macrognathia. The implementation of the proposed comprehensive examination methods leads to an accurate diagnosis of complications and the choice of adequate methods of treatment and prevention.

**Keywords;** orthognathia, macrognathia, micrognathia, osteotomy.

**Абдукадыров Абдусалом**

*Доктор мед наук профессор, Центр развития профессиональной квалификации медицинских работников, г. Ташкент*  
*doc-abdukadirov@mail.ru*

**Курбанов Фарход Рахимович**

*Врач хирург стоматолог высший категории Хорезмской Областной детской стоматологической поликлинике, г. Ургенч*  
*farhod 772 1111@mail.com*

**Абдукадыров Давиржон Абдусаломович**

*Врач-стоматолог клиники «Доктор Динора» Ташкент*  
*Thedavr@gmail.com*

**Мухамедова Феруза Шухратовна**

*Ассистент Центр повышения профессиональной квалификации медицинских работников Ташкент*  
*Feruzashuxratovna@mail.ru*

*Аннотация.* Статья посвящена осложнениям хирургического лечения нижней макрогнатии с использованием вертикальной остеотомии ветвей нижней челюсти. Материалом для исследования послужил анализ результатов лечения 92 взрослых пациентов с нижней макрогнатией. Из общего числа 76-ти пациентам для выявления ошибок и осложнений предоперационного, интероперационного и ближайшего послеоперационного периодов проведен ретроспективный анализ историй болезней в клинике челюстно-лицевой хирургии ЦРПКМР с 1992–2010 годы. Также для выявления осложнений в отдаленные сроки после операций проведено клинко-рентгенологическое обследование повторно обратившихся 16- пациентов, которые перенесли вертикальную остеотомию ветвей нижней челюсти в течение этого периода. Возраст пациентов колебался от 18 до 58 лет. Из них 58 женщин и 34 мужчин. Результаты исследований показали, что во время операции осложнения возникают у 3,25%, в ближайшее послеоперационное время 23,9% и в отдаленные после операции сроки 15,1% пациентов и намного меньше, чем у различных вариантов плоскостных остеотомий ветвей нижней челюсти. Причинами этих осложнений являются погрешности амбулаторной подготовки с участием смежных специалистов, недостатки комплексного обследования, выполнения способа остеотомии и послеоперационного ведения пациентов с нижней макрогнатией. Выполнение предложенных комплексных методов обследования приводит к точной диагностике осложнений и выбору адекватных методов лечения и профилактики.

*Ключевые слова:* ортогнатия, макрогнатия, микрогнатия, остеотомия.

**Д**ля ортогнатического исправления нижней макрोगнатии наиболее часто используются различные варианты плоскостной и вертикальной остеотомии ветвей нижней челюсти. Анализ доступной научной литературы, посвященной данному вопросу, показал, что большинство статей освещают осложнения различных вариантов плоскостной остеотомии ветвей нижней челюсти. По данным клиницистов наиболее частыми осложнениями во время проведения данной операции являются кровотечение из крупных сосудов (9–15,1%), повреждение ветвей тройничного нерва (35–76%), вывих суставной головки (1,5%) и переломы остеотомированных фрагментов (1, 89%). Также в различные периоды после операций наблюдаются воспалительные процессы (11,3–17,4%), рецидивы деформаций челюстей (до 27%), дисфункция височно-нижнечелюстных суставов (14%) и другие осложнения (1,2,3,4,5;). Однако сообщений, посвященных хронологическому изучению причин и частоте осложнений вертикальной остеотомии ветвей нижней челюсти при ортогнатическом исправлении нижней макрोगнатии и методам их устранения, не встретили.

#### Цель исследования

Изучение частоты и причин осложнений вертикальной остеотомии ветвей нижней челюсти у пациентов с нижней макрोगнатией и разработка методов их устранения.

#### Материал и методы исследований

Материалом исследования послужил анализ результатов лечения 92 взрослых пациентов с нижней макрोगнатией, оперированных с использованием вертикальной остеотомии ветвей нижней челюсти в клинике хирургической стоматологии ЦРПКМР г. Ташкента с 1992 по 2010 годы. Из общего числа пациентов для выявления ошибок и осложнений предоперационного, операционного и ближайшего послеоперационного периодов проведен ретроспективный анализ историй болезней 76-ти пациентов. Также для выявления осложнений в отдаленные сроки после операций проведено клинико-рентгенологическое обследование повторно обратившихся 16- пациентов, которые перенесли вертикальную остеотомию ветвей нижней челюсти в течение этого периода. Возраст пациентов колебался от 18 до 58 лет. Из них 58 женщин и 34 мужчин.

#### Результаты и их обсуждение

Ретроспективный анализ историй болезней показал, что у всех пациентов в предоперационном периоде не проведена амбулаторная подготовка и комплексное обследование челюстно-лицевой области с участием

смежных специалистов (таблица № -1). Оставление хронических очагов инфекции, неисправленная ортодонтом зубо-альвеолярная деформация и неполноценное обследование пациентов могли привести к неточному диагнозу и различным осложнениям на этапах реабилитации пациентов с нижней макрोगнатией

Осложнения во время операций наблюдались в виде кровотечения из лицевой вены и артерии у 2-х пациентов (2,17%),

и перелома остеотомированных фрагментов у 1-го пациента (1,08%). Для сравнения аналогичные осложнения несколько раз чаще (15,1% и 1,89%) наблюдаются при плоскостной остеотомии ветвей нижней челюсти. Кроме этого, технические трудности выполнения последнего могут привести к вывиху суставной головки нижней челюсти (1,5%). Меньшее количество осложнений во время вертикальной остеотомии ветви нижней челюсти связано с тем, что лицевую артерию и вену во время препарирования часто можно обойти без повреждения. Оголение только латеральной поверхности ветви нижней челюсти и проведение вертикальной линии остеотомии позади сосудисто-нервного пучка также оставляет нижеальвеолярную артерию без повреждения. Но в редких случаях грубая работа при отделении дистального фрагмента от проксимального может привести к перелому последнего.

В ближайшее после операции время у 7-пациентов (7,60%), наблюдались симптомы повреждения мандибулярной ветви лицевого нерва, которое намного меньше, чем повреждение нижеальвеолярного нерва при плоскостной остеотомии (35 до 76%). В отличие от других клиницистов мы повреждение нервов включили в группу осложнений ближайшего после операции периода, так как симптомы и степень их повреждения полностью проявляются и точно диагностируются в первые дни после операции. Повреждение мандибулярной ветви происходит во время грубого препарирования мягких тканей подчелюстной области. Соблюдение всех правил техники операции с гидропрепарировкой раствором анестетика с вазоконстриктором исключает повреждение его и крупных сосудов подчелюстной области.

Воспалительные осложнения наблюдались у 15-пациентов (16,3%), что почти соответствует показателям, приведенным в литературных источниках (11,3–17,4%). По нашему мнению, причинами воспалительных осложнений являются оставленные в полости рта и соседних анатомических областях хронические очаги инфекции, нагноение гематомы между фрагментами и недостаточный контроль инфекции после операции. Все пациенты были выписаны в течение первых двух трех недель,

Таблица 1. Частота и хронология возникших осложнений у пациентов, оперированных по поводу нижней макрогнатии

Форма деформации		Способы ортогнатического лечения		Вертикальная остеотомия ветвей нижней челюсти 92
		Осложнения		
Время возникновения осложнений	Во время операции	Кровотечение Перелом фрагмента		2(2,17%) 1(1,08%)
		Итого		3(3,25%)
	В ближайшее время после операции	Повреждение маргинального нерва Воспалительные процессы		7(7,60%) 15(16,30%)
		Итого		22(23,90%)
	В отдаленные после операции сроки	Рецидивы деформаций челюстей Неэстетический рубец Осложнения со стороны ВНЧС		5(5,40%)* 4(6,5%)* 3(2,29%)
	Итого		12(12,19%*)	

и поэтому по данным истории болезни нам не удалось выяснить осложнения, которые наблюдались в отдаленные после операции сроки.

Однако при обследовании 16-пациентов, повторно обратившихся в клинику течение трех и более лет после операций, нам удалось выявить осложнения, которые наблюдались в отдаленные после операции сроки. Результаты повторного комплексного обследования показали наличие у 11- пациентов характерных изменений после проведенной вертикальной остеотомии ветвей нижней челюсти по поводу нижней макрогнатии. При осмотре лица у всех пациентов обычной формы, пропорциональность верхней, средней и нижней зон сохранены, носогубный угол в пределах 90–110°, соотношение губ в норме, губоподбородочная складка и форма подбородка имеют эстетически приемлемые очертания. Движения мимических мышц лица синхронные и симптомы повреждения лицевого нерва не отмечаются. У 4-пациентов (6,5%) на коже подчелюстной области с двух сторон отмечаются малозаметные рубцы-следы разрезов, проведенных для доступа к ветвям нижней челюсти. У других пациентов следы разрезов совпадали со складкой шеи и были практически незаметными. Открывание рта у всех пациентов в полном объеме и прикус по ортогнатическому типу. Все эти клинические данные подтверждаются результатами измерений, следующих антропометрических и кефалометрических параметров: лицевой индекс-  $87,1 \pm 3,19$ ;  $\langle n\text{-sn-gn} \rangle 177^\circ \pm 3,0^\circ$ ;

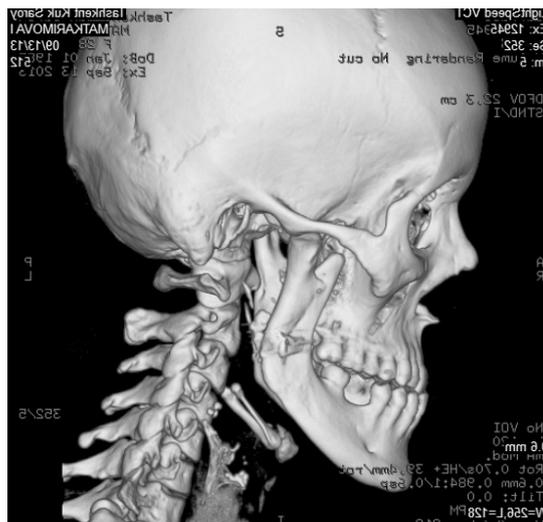
$gn\text{-go} = 88,5 \pm 1,55$ ;  $\langle SNA \rangle = 78,08 \pm 2,38$ ;  $\langle SNB \rangle = 81,67 \pm 1,54$ ;  $\langle ANB \rangle = +3,72 \pm 1,81$ ;  $MT_1 = 81,51 \pm 2,75$ ;  $MT_2 = 55,56 \pm 1,86$ ;

Все эти данные свидетельствуют о сохранении достигнутого эстетического баланса лица и прикуса и об отсутствии симптомов повреждения маргинальной ветви лицевого нерва у пациентов данной группы.

Однако 5-пациентов из 16-ти жаловались на нарушение эстетических пропорций лица и нарушение прикуса, которые появились в течение года после проведенных операций. У всех 5-х пациентов были выявлены симптомы рецидивов деформации (5,40%), которые проявлялись в виде вогнутости формы лица до  $-190\text{--}195^\circ$ , нарушения соотношения его зон, глубокого носогубного угла от 85 до 60°, прогенического прикуса от 3 до 7мм и нарушения соотношения первых моляров по 3-классу Энгеля. Антропометрические и кефалометрические измерения показывают характерные для нижней макрогнатии сочетанной с верхней микрогнатией изменения, которые количественно подтверждаются результатами следующих параметров; лицевой индекс 89,34–92;  $\langle n\text{-sn-gn} \rangle -190^\circ\text{--}195^\circ$ ;  $gn\text{-go} = 86\text{--}95\text{мм}$ ;  $\langle SNA \rangle = 76\text{--}78^\circ$ ;  $\langle SNB \rangle = 83\text{--}85^\circ$ ;  $\langle ANB \rangle = -3,3^\circ\text{--}5,5^\circ$ ;  $\langle GO \rangle = 133^\circ\text{--}137^\circ$ ;  $MX\text{-}MX = 55\text{--}57\text{мм}$ ;  $MT_1 = 93\text{--}97\text{мм}$ ;  $MT_2 = 56\text{--}60\text{мм}$ . По нашему мнению, причинами рецидивов деформации челюстей являются диагностические ошибки в результате неиспользования комплексных методов обследования с участием смежных специалистов и не проведение рационального ортодонтического лечения на этапах



а)



б)

Фото 1. Диагностические и технические ошибки вертикальной остеотомий ветвей нижней челюсти (а), гиперплазия суставного отростка и вывих суставной головки (б);



а)



б)

Фото 2. Пациентка Я.23 г. Нижняя макрогнатия обусловленная гиперплазией левого суставного отростка нижней челюсти в фас (а) до и (б) после операций

реабилитации и погрешности проведения остеотомий челюстей. Клинически у трех пациентов наблюдали патологические изменения со стороны височно-нижнечелюстных суставов (3,2%), которые намного меньше, чем у плоскостной остеотомии (14%). Из них у одной пациентки дисфункция височно-нижнечелюстных суставов проявилась в виде хруста и щелканья при движениях нижней челюсти. У другой пациентки мы при пальпации не смогли обнаружить суставную головку в суставной впадине. У третьей пациентки с затрудненным открыва-

нием рта при пальпации обнаружили увеличение размеров суставной головки с правой стороны. У этой же пациентки с увеличенной суставной головкой на МСКТ выявили гиперплазию суставного отростка нижней челюсти (фото-1-а). У пациентки с отсутствующей суставной головкой в ямке выявили вывих последней подскуловую дугу (фото-1-б). По нашему мнению, они возникли в результате дооперационных диагностических ошибок, сужения венечно-мышечкового расстояния в результате удаления большого объема костной ткани,



а)



б)

Фото 3. Пациентка Я.23г прикус (а) до и (б) после операций

что приводит к трению суставной головки о суставной бугорок или её вывиху. Неэстетичные рубцы в подчелюстных областях, которые заметны впервые месяцы (6,5%), становятся малозаметными в последующие годы после операций.

В зависимости от выраженности рецидивов деформаций челюстей выбраны и проведены следующие методы ликвидации осложнений;

1- пациенту с минимальным несоответствием зубных дуг (до 2мм) во фронтальном отделе провели компактоостеотомию в сочетании с ортодонтической коррекцией; 2-пациентам с несоответствием зубных дуг до 5мм и более проводили комбинированную остеотомию челюстей с изготовлением ретенционного аппарата с последующей ортодонтической коррекцией; 1-пациентке с верхней микро- и нижней макрогнатией с вывихом суставной головки проводили комбинированную остеотомию челюстей с реплантацией суставной головки; 1-пациентке с гиперплазией суставной головки — удаление суставной головки с аутопластикой из ребра;

Во всех случаях были достигнуты хорошие эстетические и функциональные результаты. Приводим клинический пример повторного хирургического лечения пациентки Я. 28-лет с рецидивом нижней макрогнатии обусловленной гиперплазией правого суставного отростка.

В результате операций достигнут оптимальный баланс лица и прикуса.

## ВЫВОДЫ

1. Недостаточная разработанность амбулаторных методов подготовки и предоперационных комплексных методов обследования может быть причиной диагностических ошибок и различных осложнений на этапах хирургического лечения нижней макрогнатии.
2. Кровотечение из крупных сосудов, переломы фрагментов и повреждение ветвей лицевого нерва не являются частыми осложнениями вертикальной остеотомии ветвей нижней челюсти.
3. Воспалительные осложнения встречаются в течение первого месяца после остеотомии челюсти и причинами их являются неликвидированные в челюстно-лицевой области очаги хронической инфекции, технические погрешности выполнения операции и недостаточный контроль инфекции после операций.
4. В отдаленные после операций сроки наиболее частыми осложнениями являются рецидивы деформации челюстей, дисфункция височно-нижнечелюстных суставов и неэстетичный рубец, причинами их являются отсутствие рациональной ортодонтической коррекции, нарушение нейромышечного баланса в результате неадекватного перемещения фрагментов и наружный доступ для проведения операции.
5. Использование современной медицинской технологии при диагностике и предложенные способы хирургической коррекции позволяет точно выявить и ликвидировать осложнения вертикальной остеотомии ветвей нижней челюсти в различных этапах реабилитации пациентов с нижней макрогнатией.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Абдукадыров, Ф.Ш. Мухамедиева, Ф.Р. Курбанов. Алгоритм амбулаторной подготовки взрослых пациентов к ортогнатическим операциям Журнал Stomatologiya № 1–2 с. 46–51, 2019 г. Ташкент.
2. Андреищев А.Р. Сочетанные зубочелюстно-лицевые аномалии и деформации, монография 246стр; 2008 г. Санкт-Петербург:
3. Белова, В.И. Гунько, Анализ ошибок и осложнений при хирургическом лечении больных с деформациями челюстей. Вестник РУДН серия Медицина стр. 69–73–2010 Москва.
4. Заякин, Я.А. Влияние сагиттальной плоскостной остеотомии нижней челюсти на функцию нижнеальвеолярного нерва у пациентов с сочетанными деформациями челюстей. автореферата дисс. канд. наук. ВАК РФ 14.01.
5. Сукачев В.А., Гунько В.И., Абдукадыров А. Новый способ вертикальной остеотомии ветвей нижней челюсти. В книге реконструктивно-восстановительные и новые методы лечения в клинике. С.138–139. М., 1989
6. Young-Kyun Kim, Complications associated with orthognathicsurgery J. Korean Assoc Oral Maxillofac Surg. 2017 Feb; 43(1): 3–1
7. Jędrzejewski M, Smektała T, Sporniak-Tutak K, Olszewski R. Preoperative, intraoperative, and postoperative complications in orthognathic surgery: a systematic review. Clin Oral Investig. 2015;19:969–977.
8. Malekzadeh B.O Ivanoff C.J Westerlund A. MadBigiOhmell, Widmark G. Extraoral vertical ramus osteotomy combined with internal fixation for the treatment of mandibular deformities/ Oral and maxilla facial surgtry Volume 131 Issue 6, P 636–642 June 01, 2021

© Абдукадыров Абдусалом ( doc-abdukadirov@mail.ru ), Курбанов Фарход Рахимович ( farhod 772 1111@ mail.com ),  
Абдукадыров Давиржон Абдусаломович ( Thedavr@gmail.com ), Мухамедова Феруза Шухратовна ( Feruzashuxratovna@mail.ru ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



# АНАЛИЗ ЭТИОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЛЕТАЛЬНЫХ ПНЕВМОНИЙ ПРИ НОВОЙ КОРОНОВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ COVID19 ЗА ПЕРИОД 2020–2022ГГ. В Г. СМОЛЕНСКЕ

## ANALYSIS OF THE ETIOLOGICAL STRUCTURE OF LETHAL PNEUMONIA IN THE NEW CORONAVIRUS INFECTION COVID19 FOR THE PERIOD 2020–2022 IN SMOLENSK

**O. Azovskova  
E. Fedosov  
O. Kireeva**

*Summary.* The emergence and rapid spread of a new type of coronavirus (SARS-Cov2) contributes to the development of severe acute respiratory syndrome with a mortality rate of 3.8% to 5.6% of cases. Monitoring of the etiological structure of lethal pneumonia in the conditions of a new coronavirus infection can help in drawing up a scheme of adequate therapy for severe patients in hospitals. The article discusses the etiological structure of lethal pneumonia in case of Covid 19 infection for the period 2020–2022 in Smolensk. In the course of the performed studies, qualitative differences were revealed in the bacterial structure of possible complications developing against the background of the emerging coronavirus infection, depending on the study period. The question of the relationship of various bacterial complications with the existing evolutionary changes of the virus, as well as the features of the strategy of the viral infection itself, depending on the state of the normal microflora of the body, is discussed.

*Keywords:* autopsy material, coronavirus Covid 19, etiology of infectious complications, bacteria, normal microflora, pathomorphology of affected organs.

**Азовскова Ольга Васильевна**

Кандидат медицинских наук, доцент, Смоленский государственный медицинский университет, Смоленск  
oazovskova@gmail.com

**Федосов Евгений Алексеевич**

Доктор медицинских наук, профессор, Смоленский государственный медицинский университет, Смоленск  
fedosoffevgenij@yandex.ru

**Киреева Ольга Константиновна**

Врач-патологоанатом отделения клинической патологии № 1 ОГБУЗ «Смоленский областной институт патологии»

*Аннотация.* Появление и быстрое распространение новой разновидности коронавируса (SARS-Cov2) способствует развитию тяжелого острого респираторного синдрома с летальностью от 3,8% до 5,6% случаев. Мониторинг этиологической структуры летальных пневмоний в условиях новой коронавирусной инфекции может оказывать помощь в составлении схемы адекватной терапии для тяжелых больных в стационарах. В статье обсуждается вопрос этиологической структуры летальных пневмоний при инфекции Covid 19 за период 2020–2022 гг. в г. Смоленске. В процессе выполненных исследований выявлены качественные различия в бактериальной структуре возможных осложнений, развивающихся на фоне коронавирусной инфекции, в зависимости от исследуемого периода. Обсуждается вопрос о взаимосвязи различных бактериальных осложнений с имеющимися эволюционными изменениями вируса, а также, особенностей стратегии самой вирусной инфекции в зависимости от состояния нормальной микрофлоры организма.

*Ключевые слова:* аутопсийный материал, коронавирус Covid 19, этиология инфекционных осложнений, бактерии, нормальная микрофлора, патоморфология пораженных органов.

**В** конце января 2020 г. (30.01.2020 г.) Всемирная организация здравоохранения объявила о вспышке новой инфекции, вызванной новым вариантом коронавируса, и в связи с этим, создавшейся чрезвычайной ситуацией международного значения в области общественного здравоохранения. В феврале 2020 г. было предложено назвать новый коронавирус SARS-CoV-2 (тяжелый острый респираторный синдром коронавируса-2), а инфекционному заболеванию при-

своено название коронавирусной инфекции COVID-19 (Coronavirus disease 2019).

Коронавирус SARS-CoV-2 — это РНК-содержащий вирус, последовательность генома которого на 96,2% идентична выделенному из организма летучей мыши коронавирусу RaTG13 и имеет 79,5% идентичность с SARS-CoV, вызвавшим эпидемию атипичной пневмонии в 2003 г. в Китае. Основываясь на результатах

секвенирования генома вируса и эволюционном анализе данных вируса, можно предположить, что летучая мышь — естественный хозяин вируса, и SARS-CoV-2, по-видимому, способен от летучих мышей через неизвестных промежуточных хозяев передаваться и заражать человека [9,18]. Известно, что для инфицирования клеток человека SARS-CoV-2 использует тот же специфический рецептор, что и SARS-CoV-1 — ангиотензин — превращающий фермент 2 (ACE2), трансмембранную металлокарбоксипептидазу типа I с гомологией к ACE, которая экспрессируется в эпителии дыхательных путей человека, клетках паренхимы легких, сердца, почек и кишечного тракта [12,28,29].

На сегодняшний день достаточно хорошо изучены общие вопросы эпидемиологии и патогенеза новой коронавирусной инфекции вызванной коронавирусом SARS-CoV-2. Превалирующим синдромом поражения в организме человека признана тяжелая пневмония. Пандемия новой коронавирусной инфекции сопровождается высоким уровнем заболеваемости пневмонией, с большой долей осложненных и затяжных случаев. Патогенез развития ТОРС синдрома при новой коронавирусной инфекции достаточно

сложный, и в каждом конкретном случае имеет свои особенности. И определение этиологического агента, участвующего в развитии пневмонии и различных других осложнений играет решающую роль в назначении пациенту адекватного лечения и снижения уровня летальности от данной патологии. Пневмония при данной инфекции может развиваться как во внебольничных условиях, так и внутрибольничных, при этом она может носить характер как первичной вирусной, так и вторично-бактериальной. Вирус может выступать как основной этиологический агент пневмонии и последующих ее осложнений, или как инициатор множественных нарушений, например, в системе иммунитета, которые могут приводить к развитию вторичных инфекций. Многие больные с ТОРС синдромом нуждаются в оказании неотложной помощи в условиях реанимации и интенсивной терапии, где могут столкнуться с нозокомиальной инфекцией. Осложнения, возникшие в ходе развития ТОРС синдрома в 3,8% (согласно статистическим данным) случаев могут приводить к летальному исходу [2,10,30]

По данным литературных источников в списке возникших осложнений, приведших к смерти, доминируют острый респираторный дистресс синдром (ОРДС) и вторичная пневмония. [2,25,35,38]. На сегодняшний день многие вопросы, связанные с течением, адекватным лечением ОРДС, вызванного SARS-CoV-2, остаются открытыми. Микробиологические исследования в целях установления и верификации клинико-патологоана-

томического диагноза, и мониторинг этиологической структуры летальных пневмоний от новой коронавирусной инфекции оказывают помощь в составлении схемы адекватной эмпирической терапии для такого рода больных.

### Цель исследования

Анализ этиологической структуры летальных пневмоний, у больных с инфекцией COVID-19, погибших в стационарах г. Смоленска в период 2020–2022 гг.

### Материалы и методы

Забор тканей аутопсийного материала производили в специальные стерильные контейнеры и доставляли в лабораторию не позднее 2-х часов после забора. Микробиологическое исследование аутопсийного материала начиналось с микроскопии мазков-отпечатков, окрашенных по Граму и по Циль-Нильсену. Бактериоскопия мазков выступает как экспресс-метод, позволяющий получить ориентировочное представление о характере микрофлоры, а определение наличия сегментоядерных лейкоцитов позволяет судить о наличии воспалительного процесса.

Для посева аутопсийного материала использовали сердечно-мозговой агар, среду Мак-Конки, желточно-солевой агар, энтерококк агар. Выделение и идентификацию чистой культуры микроорганизмов проводили по общепринятой методике исследования.

Окончательную идентификацию видовой принадлежности микроорганизма осуществляли с помощью масс-спектрометрического анализа на масс-спектрометре с использованием программного обеспечения MaldiBiotyper 3,0 (BrykerDaltonics, Германия).

Определение чувствительности выделенных штаммов к антибиотикам проводили диско-диффузионным методом. Наличие БЛРС и МБЛ — механизмов резистентности ферментирующих и неферментирующих микроорганизмов к антибиотикам выделенных штаммов определяли методом двойных дисков.

### Результаты

Всего проанализировано 1247 летальных случаев. Причиной смерти пациентов явилась коронавирусная инфекция, вызванная вирусом SARS — Cov-2. Аутопсийный материал от погибших пациентов поступал в лабораторию в течение 2020–2022 гг. При сравнительном анализе этиологической структуры летальных пневмоний, возникших в ходе развития инфекции, было опре-

делено три временных периода: июнь-декабрь 2020 г; январь — июль 2021 г.: август 2021- февраль 2022 г.

Количество погибших пациентов составило 545 человек, 391 человек, 311 человек — соответственно анализируемым периодам. Среди погибших пациентов количество мужчин составило: 302 чел. (55,4%), 215 чел (54,9%), 153 чел. (49,1%), количество женщин — 243 чел. (42,7%), 175 чел. (44,6%), 158 чел. (50,8%), соответственно анализируемым периодам.

Согласно физическим и биологическим различиям заболевших и погибших, для более детального сравнительного анализа динамики этиологической структуры летальных пневмоний при инфекции, вызванной *SARS-Cov2*, все погибшие пациенты были распределены в разные возрастные группы: 20–24 лет; 25–29 лет; 30–34 лет; 35–39 лет; 40–44 лет: 45–49 лет: 50–54 лет; 55–59 лет; 60–64 лет: 65–69 лет; 70–74 лет: 75–79 лет; 80–84 лет: 85–90 лет: 91 и более лет. В анализируемый период 2020–2022 гг. количество умерших женщин и мужчин приблизительно было одинаковым. Однако анализ отдельных возрастных групп в разные временные интервалы, свидетельствует о том, что женщины погибали реже мужчин, за исключением возрастной группы 80–89 лет в которой к 2022 г число погибших женщин было в 3 раза больше числа погибших мужчин. В анализируемый период (2020–2022 гг.) в 51,7% случаев возраст погибших мужчин составил 65–75 лет. Значительная часть погибших женщин находилась в возрасте 65–85 лет (2020г), 75–89 лет (2021 г.), 85–90 лет (2022г)

Итак, в ходе бактериологического исследования аутопсийного материала, представленного тканями различных органов, в т.ч. и легкого, в 26,9% случаев образцы признаны отрицательными (в 6,8% случаев — микроорганизмы не выделены; в 20,1% случаев — этиологически значимых микроорганизмов не выявлено).

В положительных образцах исследуемого материала доминирующими микроорганизмами оказались бактерии рода *Acinetobacter* (*A. baumannii* — 39% случаев) и бактерии рода *Klebsiella* (*K. pneumonia* — 40,2% случаев). Все штаммы перечисленных бактерий, которые были выделены от пациентов, находящихся в стационаре в условиях интенсивной терапии и реанимации, обладали множественной резистентностью к разным группам антибиотиков. Данное обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что данные штаммы имеют внутрибольничное происхождение.

Бактерии *p. Acinetobacter* и *p. Klebsiella* высевали как в монокультуре, так и в ассоциации друг с другом или с другими микроорганизмами. Сравнительный анализ этиологической структуры летальных пневмоний

при ковиде показал, что на протяжении трех периодов исследования (2020–2021–2022 гг.) доля высеваемости *A. baumannii* заметно снизилась (44,1%, 42,9%, 22,5%, соответственно периодам исследования), в то время как частота высеваемости *K. pneumonia* к 2022 г. не изменилась (осталась на прежнем уровне) (39,2%–2020 г. и 40% — в 2022 г.). Высокорезистентные штаммы выявленных микроорганизмов характеризовались разными фенотипами резистентности: штаммы, вырабатывающие бета-лактамазы расширенного спектра действия (*ESBL*-штаммы) и штаммы, продуцирующие ферменты, обуславливающие устойчивость ко всем бета-лактамам антибиотикам и карбапенемам (*MBL*-штаммы). Кроме таких представителей семейства *Enterobacteriaceae* как *K. pneumonia* также были выделены высококорезистентные штаммы *E. cloacae* (2,4% случаев) и *E. coli* (3,01% случаев).

На втором месте по частоте высеваемости из ткани легкого оказались энтерококки. Их доля среди выделенных этиологически значимых микроорганизмов составила 20,8%. В разные временные периоды (2020 г, 2021, 2021–2022 гг.) частота высеваемости энтерококков составила 22,1%, 18,1% и 20,9%, соответственно. Среди выделяемых видов преобладали *E. faecalis* (75%), реже встречались *E. faecium*. Энтерококки выделяли либо в монокультуре (6,7%), либо в ассоциациях с другими микроорганизмами (13,3%). В ряде случаев для подтверждения этиологической значимости данных бактерий в развитии вторичных бактериальных осложнений мы исследовали от погибшего не только ткань легкого, но и другие ткани аутопсийного материала (ткань печени, селезенки) и кровь. В 94,7% случаев подобных исследований энтерококки были выделены из крови в виде монокультуры. При этом в 71% случаев положительных образцов были обнаружены *E. faecium*.

Начиная с декабря 2020 г. увеличилась частота высеваемости дрожжеподобных грибов рода *Candida* (с 5,1%- декабрь 2020 г. до 31,8% — 2022 г). Среди грибов рода *Candida* в 81% случаев высевали *C. albicans*, в 19,7% случаев — это были *C. glabrata*, *C. krusei*, *C. tropicalis*. В 1,7% случаев грибы рода *Candida* выделяли в ассоциации с мицелиальными грибами, среди которых были аспергиллы (5 случаев — 0,4%).

Частота высеваемости *S. aureus* составила от 0,4% (2 случая — 2020 г.) до 10,7% (34 случая — в 2022 г.). В период 2020–2021 гг. *S. aureus* выделяли из материала пациентов молодого и старческого возраста. В конце 2021 г. и в 2022 г доля выделенных штаммов золотистого стафилококка резко возросла и встречалась практически во всех перечисленных возрастных группах. Как правило, это были пациенты, поступившие в стационар

с диагнозом «внебольничная вирусно-бактериальная пневмония». Пневмония имела молниеносное течение и в условиях стационара такие пациенты находились недолго и в течение 1–3-х суток погибали.

В 3,3% случаев из тканей легкого погибших пациентов выделяли высокорезистентные штаммы *P. aeruginosa* (2,9%- 2020 г., 5,9% — 2021 г., 1,6%- 2022 г.), реже *S. Maltophilia*, что свидетельствует о внутрибольничном происхождении пневмонии.

В период второй волны пандемии *Covid 19* (август 2020 и на протяжении 2021 г.) в 57% случаев у больных, погибших в стационарах города, внебольничная пневмония была ассоциирована с прогрессивным развитием бактериальной инфекции в других органах и крови. Этиологическая структура таких ассоциированных пневмоний была представлена *E. faecium*, *E. faecalis*, *E. coli*, *P. mirabilis* (например, при пиелонефрите), *P. aeruginosa*, *Streptococcus spp.* *Corynebacterium spp.* (*C. striatum*, *C. amycolatum*, *C. jeikeium* и др), *Staphylococcus pettencoferi* (например при апластической анемии), *Geotrichum capitatum* (например при лейкозе).

В 2022 г. увеличилась частота летальных пневмоний, ассоциированных с инфекционными очагами в тканях головного мозга и его оболочках (вирусно-бактериальный менингит и менингоэнцефалит). В этиологической структуре подобных осложнений отмечены: стрептококки (*S. agalactiae* *S. pneumoniae*), кандиды (*C. albicans*, *C. krusei*, *C. tropicalis* и др), менингококк (*N. meningitidis*), *L. monocytogenes*, микобактерии туберкулеза, мицелиальные грибы (н-р *Aspergillus*), энтерококки (*E. faecium*, *E. durans*).

В отличие от первых двух волн пандемии, в третьей волне пандемии были зафиксированы летальные случаи пневмоний среди детей. Все погибшие дети имели тяжелые хронические заболевания. Этиология данных пневмоний была представлена *P. aeruginosa* (при наличии у пациента муковисцидоза), *S. aureus*, *S. pneumoniae*, *K. pneumoniae*.

## Обсуждение

В 30-х гг. XX в. в ходе проведенных многочисленных исследований коронавирусы были официально признаны патогенными для животных. История появления и выявления, новых коронавирусов, вызывающих заболевание у людей, свидетельствует о широкой экологической пластичности *HCoV*, которая привела к резкому расширению круга резервуара хозяев, позволяя некоторым из них вызывать заболевание не только у животных и птиц, но и у людей, при этом, демонстрируя

их эпидемическую значимость. Еще на заре открытия коронавирусов, изучения их строения и биологических свойств, стало известно, что у иммунокомпрометированных людей эти практически «безобидные» вирусы могут вызывать тяжелые пневмонии, сопровождающиеся развитием РДС — синдрома [12,36]. За последние 20 лет мы стали свидетелями появления пяти видов коронавирусов, способных вызывать заболевания у людей, три из которых, являются высокопатогенными, особо-опасными вирусами, с эпидемическим и пандемическим распространением [16,21]

На сегодняшний день три особо-опасных вида коронавирусов — *SARS-CoV1*, *MERS-HCoV*, *SARS-CoV2* — способны вызывать тяжелый острый респираторный синдром с летальностью от 10% до 40%. [36,41]

Отличительные особенности структурных и биологических свойств коронавируса *SARS-CoV-2* позволяют данному вирусу передаваться от человека к человеку еще с момента инкубационного периода, вызывая поражения разной степени тяжести. Взаимодействие коронавируса *SARS-CoV-2* со специфическим рецептором ангиотензинпревращающий фермент 2 (ACE2) является определяющим фактором тканевого тропизма к клеткам мишеням человека. Основное внимание приковано к пациентам пожилого, старческого возраста, беременным и к людям с коморбидным отягощенным фоном, у которых инфекция имеет тенденцию к быстрому прогрессированию и развитию различных осложнений. Возникшие осложнения включают: респираторный дистресс синдром (ARDS), сердечно-сосудистые нарушения, приводящие к развитию инсультов, инфарктов, тромбозов; и вторичные инфекции, как результат несостоятельности работы иммунной системы [28,29,39].

Бактериологическое исследование аутопсийного материала всегда сопряжено с трудностями интерпретации полученных результатов, поскольку предсмертное состояние пациента зачастую сопровождается бактериальной транслокацией в кровь представителей нормальной микрофлоры, в частности, толстого кишечника

При бактериологическом исследовании тканей аутопсийного материала от больных с ковидной инфекцией было замечено, что *E. coli*, как основной представитель толстого кишечника и доминирующий контаминант исследуемого аутопсийного материала, высевали только в 10,2% случаев, по сравнению с результатами исследований от умерших без ковидной инфекции, для которых частота встречаемости агонального обсеменения кишечной палочкой составляла > 75%. Аутопсийный материал от погибших с ко-

видной инфекцией чаще всего был контаминирован стрептококками — комменсалами или вообще имел отрицательный результат (12,4%). Мы считаем, что значимость обнаруженного явления во время проводимого исследования имеет определенное значение в расширении понимания роли нормальной микрофлоры в жизнедеятельности макроорганизма. В разные возрастные периоды жизни человека микробная популяция, как и все другие системы организма, характеризуется серьезной структурной и функциональной перестройкой, обеспечивающей приспособление организма к существующим условиям. У людей пожилого и старческого возраста с коморбидным фоном (такая группа умерших в нашем исследовании составила 93%) данная перестройка является уязвимым местом, predisposing к дисбиозу. По данным зарубежных исследователей, у людей предрасположенных к новой коронавирусной инфекции и имеющих тяжелое течение инфекции было обнаружено состояние дисбиоза, которое проявлялось снижением количества лактобактерий, грамотрицательной облигатной микрофлоры (в т.ч. *E. coli*) и увеличением количества стрептококков и *Klebsiella spp.* [23,27]. Инфекция, вызванная неординарным вирусом, может рассматриваться как провоцирующий фактор для нарушения работы микробного сообщества кишечника, которое является неотъемлемым компонентом в работе иммунной системы. Связывая обнаруженный нами факт с опубликованными данными зарубежных авторов о роли микробиоты кишечника в развитии и течении *COVID-19* инфекции, можно предположить, что речь идет о дисбиозе кишечника. Однако, утверждать, что первично — дисбиоз на фоне инфекции или инфекция на фоне дисбиоза — пока крайне сложно и ответ на этот вопрос требует дальнейших исследований.

На микробиологическое исследование в лабораторию поступал аутопсийный материал от погибших пациентов с коронавирусной инфекцией, у которых при вскрытии были обнаружены патоморфологические признаки вирусно-бактериальной пневмонии, в отдельных случаях дополнительно сопровождающихся картиной ДВС — синдрома и сепсиса. Было установлено, что в 80,1% случаев этиологическую роль в развитии тяжелой, летальной вирусно-бактериальной пневмонии, возникшей у ковидных больных, играли внутрибольничные штаммы бактерий: *A. baumannii* и *K. pneumoniae*. Патоморфологическая картина возникших изменений в ткани легкого у таких погибших пациентов (диффузный интерстициальный фиброз и массивная лимфо — лейкоцитарная воспалительная инфильтрация межальвеолярных перегородок, обильный гнойный экссудат в просветах резко деформированных альвеол) свидетельствовала о более поздних экссудативных процессах вирусного генеза и наличии

активного бактериального очага на момент смерти пациента.

В ряде случаев были выделены штаммы разных видов микроорганизмов, не относящиеся к списку внутрибольничных или не проявляющие признаков (свойств) внутрибольничных штаммов. Как правило, подобные внебольничные штаммы разных видов бактерий определяли в материале от пациентов, которые поступили в стационар с тяжелой пневмонией, сочетанной с обострением таких хронических заболеваний, как хронический пиелонефрит, парапроктит, осложненные трофические язвы при сахарном диабете, рецидивами онкологических заболеваний (рак простаты, рак крови, рак матки и т.д.), у всех этих пациентов тест на *Covid 19* был положительным. Из ткани легкого, почек, селезенки, печени и крови выделяли следующие микроорганизмы, признанные этиологически значимыми: *E. faecium*, *E. faecalis*, *E. coli*, *P. mirabilis*, *P.aeruginosa*, *Streptococcus spp.* *Corynebacterium spp.* (*C. striatum*, *C. amycolatum*, *C.jejkeium* и др), *Staphylococcus pettencoferi* (при апластической анемии), *Geotrichum capitatum* (например при лейкозе) и т.д. Возможно, что у подобной группы больных с ковидной инфекцией эти штаммы бактерий и грибов, как «свидетели-персистенты» раннее возникшего хронического инфекционного состояния, сыграли ключевую роль в развитии септического состояния, приведшего к смерти больного при инфекции *Covid 19*

Замечено, что в 2022 г. увеличилась частота встречаемости (с 0,1% до 8,01%) пациентов с летальным исходом, у которых кроме инфекционного очага в тканях легких зафиксированы инфекционные поражения в головном мозге и его оболочках (вирусно-бактериальный менингит и менингоэнцефалит). При этом отмечено появление в структуре этиологически значимых микроорганизмов редких патогенов: *N. meningitidis*, микобактерии туберкулеза, мицелиальные грибы (н-р *Aspergillus*), листерии, стрептококки (*S. agalactiae* *S. pneumoniae*), кандиды (*C. tropicalis* и др). Данный период времени характеризовался сменой первой волны пандемии второй и, соответственно, сменой циркулирующих штаммов. Возможно, стоит обратить внимание на «селекцию» подобных видов бактерий, поскольку это может быть связано с качественными характеристиками изменяющихся вирусов и, соответственно, их влиянием на состояние иммунитета, в условиях которого могут вызывать инфекционную патологию данные микроорганизмы. Кроме того, подобные микроорганизмы являются маркерами клеточного иммунодефицита.

Согласно ранее проведенным научным исследованиям в отношении коронавирусов человека (*229E*, *OC43* и *SARS-CoV*) было доказано, что данные виру-

сы обладают выраженными нейротропными и нейровиновыми свойствами, способными вызывать как первичные поражения тканей и оболочек головного мозга, так и способствовать развитию вторичных вирусно-бактериальных осложнений или аутоиммунных нарушений в данной топографической области [21,33,4,6,8]. На сегодняшний день, в списке литературы присутствует достаточно большое количество публикаций, посвященных описанию клинических случаев поражения ЦНС при *COVID-19*. В них обсуждаются **предполагаемые** патогенетические механизмы развития нейроосложнений, однако биологические **возможности** нового вируса в отношении механизма поражения клеток и тканей ЦНС ученым еще предстоит изучить.

Замечено, что в этиологической структуре вторичных инфекционных осложнений преобладают условно-патогенные микроорганизмы, которые способны вызывать тяжелые процессы с летальным исходом только у иммунокомпрометируемых пациентов. Следуя результатам нашего исследования, необходимо заметить, что значительную часть пациентов, погибших от данной инфекции, составляли лица пожилого и старческого возраста, чья иммунная система имеет свои возрастные особенности. В настоящее время нет однозначных данных о роли врожденного и приобретенного иммунитета в развитии болезни у пациентов с *COVID-19*. Однако, согласно имеющимся на сегодняшний день литературным данным зарубежных и отечественных исследователей, у пациентов со среднетяжелыми и тяжелыми формами инфекции *Covid 19* отмечалась лейкопения, а уровень показателей врожденного и адаптивного клеточного иммунитета был снижен по сравнению с пациентами с легкой формой *Covid 19* [35,37,10].

Происхождение иммунопатологического состояния во время инфекции, вызванной вирусом *SARS-Cov2* еще до конца не изучено. Вирус, вовлекая в инфекционный процесс клетки и ткани организма, имеющих рецептор *ACE-2*, (который не имеет специфического тропизма, поскольку присутствует на клетках различных жизненно важных органов), активирует критически важные сигнальные пути, способные изменить (модулировать) индукцию противовирусного иммунного ответа — составляющей части иммунопатогенеза инфекции. В последнее время, благодаря ряду проведенных научных исследований по изучению процессов взаимодействия *HCoV*, в том числе *SARS-Cov 2* с клетками хозяина, были установлены основные моменты неблагоприятного развития судьбы клеток и их структур, пораженных вирусом. Такими критическими моментами в процессе взаимодействия вируса *HCoV* и клетки являются: активация аутофагии в клетке, пораженной вирусом; индукция апоптоза зараженной клетки (такой клеткой может

оказаться лимфоцит); активация стресса эндоплазматического ретикулума (появления высокой концентрации белка не прошедшего фолдинга). Вызванные нарушения в клетке, задействуют гены, общие для работы врожденного иммунитета, и как «эффект обратной связи», могут привести к индукции цитокинов и хемокинов, усиливающих воспалительный процесс, который иногда является причиной обширных повреждений тканей организма и различных иммунопатологий.

Все три анализируемых периода характеризуются постепенным увеличением частоты высеваемости из пораженных участков тканей легкого дрожжеподобных (*Candida*) и мицелиальных грибов. Можно предположить три возможные причины данного факта: выраженное состояние клеточного иммунодефицита; применение антибактериальных препаратов и гормональная терапия (для борьбы с цитокиновым штормом); и (или) появление и циркуляция мутантных штаммов вируса, имеющих особенные фенотипические характеристики передачи и поведения в организме хозяина. Все вирусы, в т.ч. и короновирусы, обладая ограниченными геномными возможностями, эволюционируют таким образом, чтобы использовать факторы организма хозяина для облегчения своей репликации. В свою очередь, клетки организма хозяина также создают сложные сигнальные пути для обновления, контроля и уничтожения вторгшихся вирусов. И эта, так называемая «гонка вооружения» на молекулярном и клеточном уровне может приводить к появлению новых мутантных штаммов, с новыми возможностями для блокировки противовирусного иммунитета. Согласно проводимому ВОЗ и ее сети международных экспертов мониторингу эволюции *SARS-CoV2*, в ходе развития пандемии в течение 2020–22 гг. зафиксировано появление в циркуляции новых мутантных штаммов, представляющих опасность (ВВО) и (или) вызывающих интерес (ВВИ), которые характеризуются более высокой вирулентностью и изменениями в клинических проявлениях инфекции. Это четыре самых агрессивных штаммов, выделенных в разных географических точках мира: британский (вариант альфа), южноафриканский (вариант бета), бразильский (вариант гамма), индийский (вариант дельта), появление которых было зафиксировано в разные периоды трех лет.

Особый интерес вызывают случаи выявления из тканей легкого и крови погибших пациентов таких бактерий как энтерококки (20,8% от общего числа этиологически значимых микроорганизмов). Следует отметить, что в микроскопической картине аутопсийного материала от данных умерших больных были обнаружены острые экссудативные изменения в виде выпадения рыхлого фибрина в просвет альвеол и формирование гиалиновых мембран, в сочетании с выраженным ско-

плением полиморфноядерных лейкоцитов в просвете альвеол. Наши полученные данные по энтерококковой бактериемии при тяжелом дистресс-синдроме у больных с *CoVID-19* согласуются с данными литературных источников зарубежных авторов [20,22,24]. Предполагается, что вирус, вызвавший заболевание, определяет развитие и тяжесть течения пневмонии, а энтерококки, усугубляя ее течение, влияют и на исход заболевания. Обладая особыми факторами патогенности и генами, определяющими природную резистентность к некоторым группам антимикробных препаратов, данный инфекционный агент выступает как соучастник ассоциативного или антогонистического симбиоза, который может вызывать утяжеление клинического течения заболевания при комплексной коморбидности пациента, осложняя и диагностику, и лечение больного.

Итак, в 73,1% случаев летальных пневмоний, где основным триггером развития патологических процессов в организме явился коронавирус *SARS-CoV-2*, мы констатировали присоединение вторичной инфекции, вызванной различными видами бактерий, грибов. Согласно проведенным ранее исследованиям было установлено, что инфекция у больных с сочетанной соматической патологией, в которой участвует два и более возбудителей, может существенно изменять течение всего инфекционного процесса, а также, патоморфоз соматического заболевания. Так взаимодействие вируса гриппа и других респираторных вирусов со стрептококками (в т.ч., авирулентными штаммами) приводят к нарастанию вирулентности последних и увеличению риска летальных исходов [3,5,7,15]. Явление интерферирующей синтропии (когда вторая инфекция возникает на фоне предшествующей, отягощая ее) влияет не толь-

ко на течение и исход болезни, но и изменяет чувствительность к антимикробным препаратам, формируя при этом симбиозе лекарственно-устойчивые штаммы. Можно предполагать, что все эти убеждения правомочны и в отношении новой коронавирусной инфекции.

## Заключение

Значительная часть погибших пациентов с инфекцией *Covid 19* находилась в возрасте 59–75 лет. Средний возраст погибших пациентов мужского пола составил 65–75 лет, а женщин — 65–85 лет (в период 2020г), 75–89 лет (в 2021 г.), 85–90 лет (2022 г.). В 72,9% случаев летальных пневмоний у пациентов с *Covid 19* этиологически значимыми инфекционными агентами признаны бактерии и грибы. В ходе микробиологического анализа замечено изменение характера поражения макроорганизма в ходе развития вирусной инфекции, которые сочетались с определенными изменениями в этиологической структуре осложненных пневмоний. Этиологическая структура бактериальных пневмоний с летальным исходом была представлена как внутрибольничными, так и внебольничными штаммами бактерий различных видов. Среди внутрибольничных видов бактерий лидирующую позицию занимали *A. baumannii* и *K. pneumoniae*. Внебольничные штаммы различных видов бактерий были представлены *E. faecium*, *S. aureus*, *S. pneumoniae*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*. Сравнительный анализ этиологической структуры летальных пневмоний в период 2020–2022 гг. показал увеличение частоты высеваемости грибов и отдельных видов бактерий (*Mycobacterium*, *S. aureus*, *L. monocytogenes* и др), своего рода индикаторов несостоятельности клеточного иммунитета.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Акимкин В.Г., Захарова Ю.А., Иголина Е.П., Болгарова Е.В. Нозокомиальные респираторные вирусные инфекции: современное состояние проблемы //Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2019. № 5. с. 50–61. doi: 10.36233/0372-9311-2019-5-50-61
2. Абдурахимов А.Х.Х, Хегай Л.Н., Юсупова Ш.К. Covid-19 и его осложнения. // Re-health journal. 2021. № 4. (12) — С. 61–74
3. Александрова Н.А. Заславская М.И., Вахромова М.В. Антагонистические взаимоотношения энтерококков с кандидами на уровне вагинального биотопа и в эксперименте *in vitro* // Медицинский альманах. 2016. № 5. С. 91–94.
4. Белопасов В.В., Яшу Я., Самойлова Е.М., Баклаушев В.П. Поражение нервной системы при COVID-19 //Клиническая практика. 2020. № 2. С. 59–80
5. Быковский А.Ф. Актуальные вопросы проблемы смешанных инфекций. В кн.: Сборник научных трудов «Смешанные инфекции». М.; 1986
6. Войтенков В.Б., Екушева Е.В. К вопросу о нейротропности и нейроинвазивности коронавирусов //Клиническая практика. 2020. Т. 11, вып 2. С. 81–86
7. Дубровина Т.Я. Грабовская К.Б., Иванова И.А. Летальный синергизм вирус-бактериальных инфекций (модель: грипп-стрептококк) // Вестник АМН СССР. 1989. № 1. С. 17–22
8. Костинов М.П. 1, 2, Шмицько А.Д., Полищук В.Б., Хромова Е.А. Современные представления о новом коронавирусе и заболевании, вызванном SARS-CoV-2 //Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение. 2020. Т. 9, № 2. С. 33–42
9. Львов Д.К., Альховский С.В., Колобухина Л.В., Бурцева Е.И. Этиология эпидемической вспышки COVID-19 в г. Ухань (провинция Хубэй, Китайская Народная Республика), ассоциированной с вирусом 2019-CoV (Nidovirales, Coronaviridae, Coronavirinae, Betacoronavirus, подрод Sarbecovirus): уроки эпидемии SARS-CoV //Вопросы вирусологии. 2020. Т. 65(1). С. 6–15. DOI: <https://doi.org/10.36233/0507-4088-2020-65-1-6-15>
10. Малиникова Е.Ю. Новая коронавирусная инфекция. Сегодняшний взгляд на пандемию XXI века COVID-19 //Журнал для непрерывного медицинского образования врачей. Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение. 2020. Том 9, № 2. С. 18–32

11. Мазуров В.И., Гайдукова И.З., Бакулин И.Г. и др. Особенности течения и факторы неблагоприятного прогноза коронавирусной инфекции COVID-19 у пациентов с иммуновоспалительными заболеваниями. //РМЖ. 2020. № 11. С. 4–8
12. Руководство по вирусологии. Вирусы и вирусные инфекции человека и животных. Под редакцией Д.К. Львова. Москва: Изд-во. «Медицинское информационное агентство». 2013. 1197 с.
13. Стулова М.В., Кудряшева И.А., Полунина О.С., Черенова Л.П., Аршба Т.Е., Лисина О.А., Казакова Е.А. Сравнительный клинико-лабораторный анализ Covid-19 ассоциированной пневмонии с внебольничной пневмонией бактериальной этиологии //Современные проблемы науки и образования. 2020. № 3. С. 134.
14. Титова О.Н., Волчков В.А., Кузубова Н.А., и др. Особенности течения пневмоний, вызванных SARS-CoV-2, у госпитализированных пациентов: опыт Санкт-Петербурга // РМЖ. 2020. № 11. С. 9–13
15. Шкарин В.В., Саперкин Н.В. Взаимодействие возбудителей сочетанных инфекций при комплексной коморбидности (теоретические и практические вопросы) //Российский Медицинский Журнал. Медицинское обозрение 2021. № 11. С. 737–743 doi: 10.32364/2587–6821–2021–5–11–737–743
16. Щелканов М.Ю., Попова А.Ю., Дедков В.Г., Акимкин В.Г., Малеев В.В. История изучения и современная классификация Коронавирусов (Nidovirales: Coronaviridae) //Инфекция и иммунитет. 2020. Т. 10, № 2. С. 221–246.
17. Фесенко О.В., Швайко С.Н. Пневмонии, вызванные *Klebsiella pneumoniae* (фридлендеровские пневмонии) // Практическая пульмонология. 2019. № 1. С. 22–31.
18. Acheson N.H. Fundamentals of molecular virology. 2011. — 497 с
19. Andersen KG, Rambaut A, Lan Lipkin W, Holmes EC, Garry RF. The proximal origin of SARS-CoV-2. //Nature Medicine. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0820-9>
20. Bonazzetti C, Morena V, Giacomelli A, et al. Unexpectedly high frequency of enterococcal bloodstream infections in coronavirus disease 2019 patients admitted to an Italian ICU: an observational study. //Critical Care Med. 2021. Vol.49, N1. P31–40.
21. Desforges M., et al. Human coronaviruses and other respiratory viruses: Underestimated opportunistic pathogens of the central nervous system? // Viruses. 2019. N12. P. 2–28. doi: 10.3390/v12010014
22. Giacobbè DR, Battaglini D, Ball L, et al. Bloodstream infections in critically ill patients with COVID-19 //European Journal Clinical Investigation. 2020. Vol 50, № 10. P. 13319.
23. Gou W. Gut microbiota may underlie the predisposition of healthy individuals to COVID-19. //medRxiv. doi:10.1101/2020.04.22.20076091
24. Grasselli G, Scaravilli V, Mangioni D, et al. Hospital-acquired infections in critically ill patients with COVID-19. //Chest. 2021. Vol 160(2). P. 454–465.
25. Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. //Lancet 2020/ 395. P. 497–506.
26. ICTV Taxonomy. International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV). Accessed March 29, 2020. <https://talk.ictvonline.org/taxonomy/>.
27. Jack D. Sobel, Larry M. Bush, and Allan R. Tunkel Microbiota and Coronavirus Disease 2019. Which Came First, the Chicken or the Egg? //Clinical Infectious Diseases. 2021. VOL.72, N12. P. 2244–2245
28. Kuba K., Imai Y., Rao S. et al. A crucial role of angiotensin converting enzyme 2 (ACE2) in SARS coronavirus-induced lung injury //Nature Medicine. 2005. Vol. 11, № 8. P. 875–879. DOI: 10.1038/nm1267
29. Li W., Moore M.J., Vasilieva N. et al. Angiotensin-converting enzyme 2 is a functional receptor for the SARS coronavirus //Nature. 2003. Vol. 426 № 6965. P. 450–454. DOI: 10.1038/nature02145
30. Lin L, Lu L, Cao W, Li T. Hypothesis for potential pathogenesis of SARS-CoV-2 infection — a review of immune changes in patients with viral pneumonia. // Emerg Microbes Infect. 2020. № 9. (1). P. 727–732. doi: 10.1080/22221751.2020.1746199
31. Lu R, Zhao X, Li J, Niu P, Yang B, Wu H, et al. Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding //Lancet. 2020. Vol.395(10224). P. 565–574
32. Lucena T.M.C., Silva Santos A.F., Lima B.R., Albuquerque Borborema M.E., Azevêdo Silva J. Mechanism of inflammatory response in associated comorbidities in COVID-19 // Diabetes Metabolic Syndrom. 2020. Vol. 14, N4. P. 597–600. DOI: 10.1016/j.dsx.2020.05.025
33. Morfopoulou S., et al. Human coronavirus OC43 associated with fatal encephalitis. //New England Journal of Medicine. 2016. N375. P. 497–498. DOI: 10.1056/NEJMc1509458375
34. Nilsson A., et al. Fatal encephalitis associated with coronavirus OC43 in an immunocompromised child. //Infection. Diseases. (London) Published online — 2020. <https://doi.org/10.1080/23744235.2020.1729403>
35. Picchianti Diamanti A., Rosado M.M., Pioli C. et al. Cytokine Release Syndrome in COVID-19 Patients, A New Scenario for an Old Concern: The Fragile Balance between Infections and Autoimmunity.//International Journal Molecular Sciences. 2020. 21(9). P. 3330–3390. doi:10.3390/ijms.
36. Su S, Wong G, Shi W, Liu J, Lai ACK, Zhou J, et al. Epidemiology, Genetic Recombination, and Pathogenesis of Coronaviruses. //Trends Microbiology. 2016. Vol.24(6). P. 490–502.
37. Wan S.X., Yi Q.J., Fan S.B. et al. Characteristics of lymphocyte subsets and cytokines in peripheral blood of 123 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus pneumonia (NCP) //medRxiv. 2020 [2020–02–24]. URL: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.02.10.20021832> DOI: 10.1101/2020.02.10.20021832
38. Wang D, Hu B, Hu C, et al. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus–infected pneumonia in Wuhan, China. //JAMA. 2020. 323(11). P. 1061–1069.(актуальность)
39. Yi Y., Lagniton P.N.P., Ye S., Li E., Xu R.H. COVID-19: what has been learned and to be learned about the novel coronavirus disease // International Journal Biology Sciences. 2020. Vol.16, N10. P.1753–1766 (ссылка на смертность)

40. Zhang J.J., Dong X., Cao Y.Y. et al. Clinical characteristics of 140 patients infected with SARS-CoV-2 in Wuhan, China //Allergy. 2020. Vol.75(7). P. 1730–1741. DOI: 10.1111/all.14238
41. Zhang T, Wu Q, Zhang Z. Probable Pangolin Origin of SARS-CoV-2 Associated with the COVID-19 Outbreak. //Current Biology. 2020. N30. P. 1346–1351 <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.03.022>
42. Zhou P, Yang X.L., Wang X.G. et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin //Nature. 2020. Vol. 579, N7798. P. 270–273. DOI: 10.1038/s41586-020-2012-7

© Азовскова Ольга Васильевна ( oazovskova@gmail.com ),  
Федосов Евгений Алексеевич ( fedosoffevgenij@yandex.ru ), Киреева Ольга Константиновна.  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Смоленск

## СТРУКТУРА ИНФЕКЦИОННЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ ПРОНИКАЮЩИХ РАНЕНИЙ ГЛАЗНОГО ЯБЛОКА

### STRUCTURE OF PENETRATING EYE INJURY INFECTIONAL COMPLICATIONS

**Aksenova S.V.**  
**Kumaksheva T.N.**  
**Khozina E.A.**  
**Vasilyeva O.A.**  
**Malysheva V.S.**

*Summary.* This article presents the results of the analysis of the intraocular purulent infection as a complication of the eye penetrating injury development in the adult population based on the Republican Ophthalmological Hospital data. A decrease in the frequency of this complication by years was traced. Intraocular infection was more common in penetrating wounds of the cornea with intraocular foreign bodies and delaying in seeking medical care.

*Keywords:* penetrating wounds, purulent iridocyclitis, endophthalmitis.

**Аксенова Светлана Владимировна**

Профессор, д.м.н., Национальный  
исследовательский Мордовский государственный  
университет им. Н.П. Огарёва, Саранск  
aksenovamed@mail.ru

**Кумакшева Татьяна Николаевна**

Старший преподаватель, Национальный  
исследовательский Мордовский государственный  
университет им. Н.П. Огарёва, Саранск  
tanya.kumaksheva@mail.ru

**Хозина Евгения Александровна**

Старший преподаватель, Национальный  
исследовательский Мордовский государственный  
университет им. Н.П. Огарёва, Саранск  
eahozina@gmail.com

**Васильева Ольга Александровна**

Доцент, к.м.н., Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет им.  
Н.П. Огарёва, Саранск; врач-офтальмолог общество  
с ограниченной ответственностью «Клиника  
доктора Куренкова» Москва  
olga11vasilyeva@gmail.com

**Малышева Влада Сергеевна**

Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет им.  
Н.П. Огарёва Саранск  
vmalysheva99@yandex.ru

*Аннотация.* В данной статье представлены результаты анализа развития внутриглазной гнойной инфекции как осложнения проникающего ранения глазного яблока у взрослого населения по материалам ГБУЗ РМ «Республиканская офтальмологическая больница». Прослежено снижение частоты встречаемости данного осложнения по годам. Внутриглазная инфекция чаще встречалась при проникающих ранениях роговицы с внутриглазными инородными телами и позднем обращении пациентов за медицинской помощью.

*Ключевые слова:* проникающие ранения, гнойный иридоциклит, эндофтальмит.

### Актуальность

**Н**есмотря на значительные успехи в диагностике и лечении проникающих ранений глаза, достигнутые за последнее десятилетие, внутриглазная раневая инфекция остается одним из тяжелых осложнений такого рода травм. Частота её развития колеблется в пределах 3,2–21%. Слепота и гибель глаза наблюда-

ется у 22,8–60,7% больных, несмотря на современные методы лечения [1, 2]. Основным источником внутриглазной раневой инфекции при проникающих травмах глаза является микрофлора ранящего предмета, а также микроорганизмы, присутствующие в конъюнктивальном мешке. Ряд авторов не исключает возможность развития раневого процесса в результате эндогенного инфицирования глазного яблока при общих

септических и инфекционных заболеваниях, а также при наличии в организме фокальной инфекции [3, 4].

Полноценность и своевременность первичной хирургической обработки и операционного вмешательства при травмах глаза являются превалирующими по значимости условиями для сохранения глазного яблока и его функций. В противном случае прогрессирование процесса в витреоретинопатию в сочетании с угрозой инфекционного воспаления неблагоприятно в прогностическом отношении, так как сопряжено с развитием в последующем симпатической офтальмии с необходимостью эвисцерации или энуклеации с целью ее профилактики. Фактором риска ее возникновения являются и проникающие ранения глаза, и интраокулярные операции. Таким образом, имеющаяся вероятность утраты бинокулярного зрения при прямой травме глаза увеличивается в случае отсутствия грамотного оперативного устранения источника аутосенсibilизации [5, 6].

Одним из наиболее тяжелых осложнений проникающих ранений глаза является эндофталмит. Лечение, назначаемое для профилактики эндофталмита, включает интравитреальное, местное введение антибиотиков, а также применение системных антибиотиков широкого спектра действия, ранняя первичная хирургическая обработка раны, витрэктомия, тампонада газом или силиконовым маслом. Интравитреально вводят цефтазидим, ванкомицин. В настоящее время избегают интравитреального введения амикацина и гентамицина из-за риска токсического действия аминогликозидов на сетчатку. Антибиотики с широким спектром действия следует начинать применять до подтверждения результатов посева. Цефтазидим и ванкомицин действуют в отношении как грамотрицательных, так и грамположительных микроорганизмов, включая метициллинрезистентный золотистый стафилококк [7, 8, 9], с учетом того что золотистый стафилококк наиболее часто выявляется при посттравматическом инфекционном воспалении структур глаза [10]. Использование стероидов является спорным ввиду неубедительных результатов [12]. В качестве дополнительной терапии могут быть назначены местные циклоплегики и стероиды для уменьшения воспаления и боли, а при развитии вторичной глаукомы — гипотензивные средства [8].

Витрэктомия pars plana показана при стойком воспалении, осложнениях со стороны сетчатки или при проведении биопсии стекловидного тела. Благодаря развитию витреоретинальной хирургии ранняя витрэктомия применяется все чаще, что делает прогноз для сохранения зрения более благоприятным. Инновационной является операция микроинцизионной витрэктомии, которая сводит к минимуму манипуляции

с конъюнктивой, вызывает меньшее по сравнению с более старыми методами интраоперационное кровотечение и повышает эффективность процедуры. Кроме того, усовершенствованные системы современного оборудования позволяют более четко визуализировать глазное дно при непрозрачных средах, например, при отеке роговицы и помутнении стекловидного тела [8, 13].

Наиболее затруднительно лечение при наличии внутриглазных инородных тел, поскольку те поддерживают воспалительный процесс и усложняют проведение хирургического лечения. В таком случае критически важно проведение своевременного лечения с целью профилактики осложнений [13]. Запоздалая диагностика проникающих травм глазного яблока является основной причиной недостаточной радикальности первичной хирургической обработки и поздней санации полостей глаза [14].

### Цель работы

Изучение структуры внутриглазной инфекции после проникающих ранений глазного яблока у взрослого населения по материалам ГБУЗ РМ «Республиканская офтальмологическая больница»

### Материал и методы

В ходе выполнения работы был проведен ретроспективный анализ историй болезни 41 пациента с проникающими ранениями глазного яблока, осложненными внутриглазной гнойной инфекцией, находившихся на стационарном лечении в травматологическом отделении ГБУЗ Республики Мордовия «Республиканская офтальмологическая больница» в период с 2017 по 2021 г.г.

Всего за исследуемый период отмечалось 409 пациентов с проникающими ранениями глазного яблока: 2017 г.— 90 человек, 2018 г.— 87 человек, 2019 г.— 86 человек, 2020 г.— 77 человек, 2021 г.— 69 человек.

В зависимости от диагноза пациенты были разделены на две группы: группа больных с гнойным иридоциклитом — 35 человек, группа больных с эндофталмитом — 6 человек. Во всех группах преобладали больные молодого и зрелого возраста — 21–60 лет (95%). Данные осложнения ранения наблюдались в основном у мужчин (85,4%). В большинстве случаев наблюдалась бытовая травма — 28 случаев (68,3%), производственная травма составила 13 случаев (31,7%). Наибольшее число больных составили жители сельской местности — 30 человек (73,2%), реже травма встречалась у жителей городов — 11 человек (26,8%).

Наибольшее количество случаев внутриглазной гнойной инфекции отмечено в летне-осенний период.

Отмечена следующая частота встречаемости внутриглазной гнойной инфекции как осложнения по отношению ко всем проникающим ранениям по годам: 2017 г.— 12,2%, 2018 г.— 10,3%, 2019 г.— 10,4%, 2020 г.— 9,1%, 2021 г.— 7,2%.

## Результаты

При анализе историй болезни пациентов с гнойным иридоциклитом после проникающего ранения глазного яблока отмечена поздняя госпитализация больных: в первые 6 часов после травмы госпитализировано 5 больных (14,3%), в первые сутки 21 больной (60%), оставшиеся пациенты — в первые двое суток (25,7%). Проникающая рана роговицы наблюдалась у 27 человек (77%), из которых у 10 пациентов травма сопровождалась внутриглазным инородным телом. У 20 больных данной группы в момент госпитализации уже наблюдались признаки гнойного иридоциклита. Все они обратились за медицинской помощью позже 6 часов после травмы. Поздняя обращаемость за квалифицированной помощью способствовала развитию внутриглазной гнойной инфекции.

Проникающая рана склеры отмечена у 8 больных (23%), из них у 3 ранение осложнялось внутриглазным инородным телом. Из этой группы только 1 пациент (12,5%) госпитализирован в первые 6 часов после травмы, оставшиеся 7 пациентов (87,5%) — в первые сутки после травмы. В момент госпитализации признаки гнойного иридоциклита наблюдались у 5 больных.

Всем пациентам с гнойным иридоциклитом первичная хирургическая обработка раны была произведена в первые часы после госпитализации.

Большая часть больных — 21 человек (60%) — с гнойным иридоциклитом госпитализирована в стационар с отсутствием предметного зрения поврежденного глаза. Зрительные функции у больных с травматическим гнойным иридоциклитом при госпитализации были следующие: из 27 пациентов с проникающими ранениями роговицы (в том числе в сочетании с внутриглазным инородным телом) у 14 человек (51,9%) отмечено отсутствие предметного зрения, у 13 пациентов острота зрения была в пределах 0,01–0,1 (48,1%).

Из 8 больных с проникающим ранением склеры, в том числе в сочетании с внутриглазным инородным телом, отсутствие предметного зрения при госпитализации отмечено у 7 человек (87,5%). У 1 пациента (12,5%) острота зрения составляла 0,04.

Таким образом, отсутствие предметного зрения у 60% больных при госпитализации в стационар указывает на тяжесть повреждения глазного яблока, которое усугубилось присоединением гнойного иридоциклита.

Из 14 пациентов с проникающим ранением роговицы, у которых при госпитализации отсутствовало предметное зрение, при выписке из стационара у 7 больных (50%) острота зрения повысилась до 0,01–0,1, у 7 пациентов (50%) сохранено светоощущение с правильной и неправильной проекцией света. У 13 пациентов с проникающим ранением роговицы с первоначальной остротой зрения 0,01–0,1 при выписке из стационара острота зрения повысилась до 0,03–0,8.

Из 7 пациентов с проникающим ранением склеры, осложненным гнойным иридоциклитом, у которых отсутствовало предметное зрение, у 4 человек (57,1%) при выписке острота зрения повысилась до 0,1–0,3, у 3 пациентов (42,9%) зрительные функции остались на прежнем уровне. У пациента с остротой зрения 0,04 при выписке отмечалось увеличение остроты зрения до 0,4.

При анализе историй болезни 6 больных с эндофтальмитом после проникающего ранения глазного яблока, как и в предыдущей группе, отмечена поздняя госпитализация: в первые 6 часов после травмы госпитализаций не было; в первые сутки после травмы госпитализирован только 1 пациент (16,7%). Остальные 5 пациентов были госпитализированы в первые двое суток после ранения (83,3%). Все больные с эндофтальмитом при поступлении в стационар уже имели признаки внутриглазной гнойной инфекции. У 4 больных (66,7%) наблюдалась корнеосклеральная рана (из них у 2 человек ранение осложнялось внутриглазным инородным телом), у 2 пациентов (33,3%) — проникающая рана склеры с внутриглазным инородным телом. Все больные с эндофтальмитом поступили в стационар уже с отсутствием предметного зрения.

Первичная хирургическая обработка раны пациентам с эндофтальмитом была произведена в первые часы после госпитализации.

При выписке у 2 пациентов (33,3%) с корнеосклеральной раной и внутриглазным инородным телом острота зрения осталась на прежнем уровне (светоощущение с неправильной светопроекцией); у 2 пациентов с корнеосклеральной раной (33,3%) отмечалось увеличение остроты зрения со светоощущением с правильной светопроекцией до 0,03 и 0,05).

У 2 пациентов (33,3%) с проникающим ранением склеры, осложненным внутриглазным инородным те-

лом, острота зрения при выписке составляла 0. В исходе первичного лечения у данных пациентов развилась субатрофия глазного яблока.

Все глаза удалось сохранить как анатомический орган.

### Заключение

Внутриглазная гнойная инфекция в форме переднего увеита и эндофтальмита после проникающих ранений глазного яблока у взрослых пациентов за анализируемый период встречалась в 7,2–12,2% случаев всех

проникающих травм глаза. Отмечено снижение частоты встречаемости данного осложнения по годам. Внутриглазная гнойная инфекция чаще встречалась при проникающих ранениях роговицы с внутриглазными инородными телами. Позднее обращение пациентов за медицинской помощью, в связи с этим поздняя госпитализация и поздняя первичная хирургическая обработка пациентов с проникающими ранениями глазного яблока способствовали развитию внутриглазной гнойной инфекции. Следует шире проводить санитарно-просветительную работу с населением о необходимости раннего обращения за медицинской помощью при травмах глаз.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Р.А. Гундорова, В.В. Нероев, В.В. Кашникова. Травмы глаза. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 560 с.
2. А.М. Южаков, В.Н. Быков, А.А. Оразбаев М. // Классификация эндофтальмита и его лечение методом витрэктомии. Вестник офтальмологии. 1981. № 5. С. 21–27.
3. Хирургическое лечение посттравматического эндофтальмита / Р.А. Гундорова, А.М. Южаков, Ф.Е. Фридман, Г.Д. Малюта // Офтальмологический журнал. 1982. № 6. С. 348–351.
4. Отдаленные результаты применения силиконовой тампонады в лечении эндофтальмита / Я.Б. Лебедев [и др.] // Современные технологии лечения витреоретинальной патологии. Сб. науч. тр. по материалам XI научно-практической конференции. 2013. С. 122–124.
5. Результаты лечения проникающих ранений глазного яблока / Колесников А.В., Кирсанова И.В., Аверина М.М., Гришина Т.Д. // Современные технологии в офтальмологии. 2021. Т. 3. № 38. С. 330–332. doi: 10.25276/2312-4911-2021-3-330-332.
6. Архипова Л.Т., Филатова И.А. О профилактике симпатической офтальмии. Энуклеация или эвисцерация? Российский офтальмологический журнал. 2017. Т. 10. № 4. С. 97–103. doi: 10.21516/2072-0076-2017-10-4-97-103.
7. Prophylactic intravitreal antibiotics reduce the risk of post-traumatic endophthalmitis after repair of open globe injuries / Marwan A Abuammoh [et al.] // Acta Ophthalmologica. 2018. Vol. 96. № 3. P. 361–365. doi: 10.1111/aos.13531.
8. Sheu SJ. Endophthalmitis // Korean Journal of Ophthalmology. 2017. Vol. 31. № 4. P. 283–289. doi: 10.3341/kjo.2017.0036.
9. Thanigasalam Thevi, Adinegara L. Abas. Role of intravitreal/intracameral antibiotics to prevent traumatic endophthalmitis — Meta-analysis // Indian Journal of Ophthalmology. 2017. Vol. 65. № 10. P. 920–925. doi: 10.4103/ijoo.110\_512\_17.
10. Post-traumatic endophthalmitis in children / Ramesh Venkatesh [et al.] // Nepal Journal of Ophthalmology. 2019. Vol. 11. № 21. P. 55–63. doi: 10.3126/nejoph.v11i1.25419.
11. Effectiveness of immediate vitrectomy and intravitreal antibiotics for post-injection endophthalmitis / Januschowski K. [et al.] // Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. 2021. Vol. 259. № 6. P. 1609–1615. doi: 10.1007/s00417-021-05071-w.
12. Prospective trial of endogenous fungal endophthalmitis and chorioretinitis rates, clinical course, and outcomes in patients with fungemia / Paulus Y.M. [et al.] // Retina. 2016. Vol. 36 № 7. P. 1357–1363. doi: 10.1097/IAE.0000000000000919.
13. Коган М.А., Манкибаева Р.И. Проникающее ранение глаза с внутриглазным инородным телом, локализованным в хрусталике. Оренбургский медицинский вестник. 2020. Т. 8. № 2(30). С. 72–76.
14. Трояновский Р.Л., Монахов Б.В. Открытая травма глаза. К диагностике и лечению сквозных ранений глазного яблока. Известия Российской военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № S1-1. С. 175–176.

© Аксенова Светлана Владимировна (aksenovamed@mail.ru), Кумакшева Татьяна Николаевна (tanya.kumaksheva@mail.ru),  
Хозина Евгения Александровна (eahozina@gmail.com), Васильева Ольга Александровна (olga11vasilyeva@gmail.com),  
Малышева Влада Сергеевна (vmalysheva99@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАТИНОТЕРАПИИ ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ С ВЫСОКИМ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫМ РИСКОМ. ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИНОВ В КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ: СОПУТСТВУЮЩИЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ И ОСЛОЖНЕНИЯ

## THE EFFECTIVENESS OF STATIN THERAPY FOR PATIENTS WITH HIGH CARDIOVASCULAR RISK. THE USE OF STATINS IN CLINICAL PRACTICE: CONCOMITANT DISEASES AND COMPLICATIONS

**A. Akhmedov  
Z. Garunov  
M. Khizriev  
G. Magadova**

*Summary.* Statins (GMC–CoA reductase inhibitors) are the first-line drugs for the treatment of dyslipidemia, which have been used in cardiology since the end of the 20th century and during this time have managed to prolong the lives of many millions of patients. This article reveals the relevance of the use of statin therapy in order to reduce the level of low-density lipoprotein cholesterol and reduce the risk of developing cardiovascular diseases. This type of treatment is indeed very effective and contributes to a drop in the level of “bad” cholesterol, which helps to reduce the risk of developing CVD and possible complications. The use of statins for 5–6 years helps to reduce probability of developing myocardial infarction by 30–45% and sudden cardiac death, and also reduces the risk of ischemic stroke by 25–30%. As a rule, taking statins in the absence of serious side effects lasts for life.

*Keywords:* Statins, statin therapy, atherosclerosis, atherosclerotic plaque, LDL-cholesterol, atorvastatin, ACS.

**Ахмедов Азедин Эшрефович**  
wf\_player@list.ru

**Гарунов Залимхан Омариевич**  
zalik.garunov@mail.ru

**Хизриев Магомедкамиль Давутович**  
Дагестанский государственный медицинский университет, г. Махачкала  
theege4biology@gmail.com

**Магадова Галина Магадовна**  
Врач-кардиолог, Дагестанского государственного медицинского университета, г. Махачкала

*Аннотация.* Статины (ингибиторы ГМК-КоА-редуктазы) — это препараты первой линии лечения дислипидемии, которые нашли свое широкое применение в кардиологии с конца 20 века и за это время смогли продлить жизнь многим миллионам пациентов. В данной статье раскрывается актуальность статинотерапии в целях снижения уровня холестерина липопротеинов низкой плотности и уменьшения риска развития сердечно — сосудистых заболеваний. Такой вид лечения действительно является очень эффективным и способствует падению уровня “плохого” холестерина, что помогает уменьшить риск развития ССЗ и возможных осложнений. Применение статинов в течении 5–6 лет способствует снижению вероятности развития инфаркта миокарда на 30–45% и внезапной сердечной смертности, а также на 25–30% уменьшает риск ишемического инсульта. Как правило прием статинов при отсутствии серьезных побочных эффектов продолжается пожизненно.

*Ключевые слова:* статины, статинотерапия, атеросклероз, атеросклеротическая бляшка, ЛПНП-холестерин, аторвастатин, ОКС.

## Введение

**П**овышенный уровень холестерина (ХС) в крови играет весомую роль в патогенезе многих патологических состояний, в том числе атеросклероза и сердечно — сосудистых заболеваний. В процессе изучения этого вопроса, была подтверждена гипотеза о том, что повышенный уровень липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) может привести к увеличению частоты развития ССЗ. В последние несколько десятков лет статины широко используются у пациентов с высоким

сердечно — сосудистым риском. Эти препараты снижают уровень холестерина липопротеинов низкой плотности (ХС-ЛПНП). С точки зрения фармакологии они относятся к конкурентным ингибиторам ГМК-КоА-редуктазы — фермента, который принимает ключевую роль в синтезе холестерина. Кроме того, статины увеличивают в печени число рецепторов, чувствительных к липопротеидам низкой плотности, что способствует повышению их поглощения и снижению ЛПНП в крови. Большинство авторов также отмечают, что снижение распространенности сердечно — сосудистых заболеваний от применения ста-

Липофильный статин	Гидрофильный статин
Симвастатин	Розувастатин
Флувастатин	Правастатин
Питавастатин	
Ловастатин	
Аторвастатин	

Рис. 1. Классификация статинов.

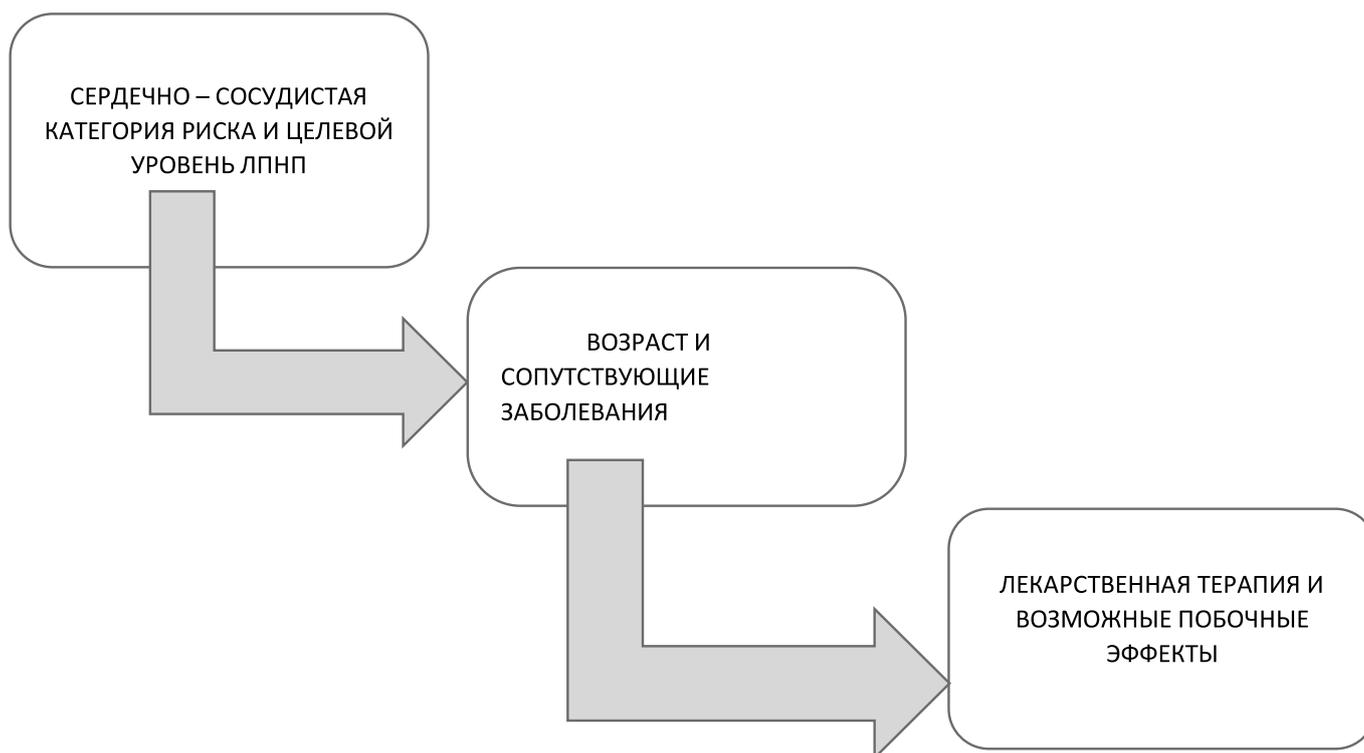


Рис. 2. Основные этапы лечения больного с гиперхолестеринемией.

тинов больше, чем от изолированного снижения уровня ХС-ЛПНП. Также, помимо положительного влияния статинотерапии на показатели липидного спектра, можно отметить ее плеiotропный эффект, заключающийся в стабилизации атеросклеротической бляшки, увеличении биодоступности оксида азота, антитромботическое, противовоспалительное, антиаритмическое, антигипертензивное, антиокислительное и иммуномодулирующее действие, а также способность к улучшению эластичности артериальной стенки. Все вышеперечисленные свойства могут быть полезны при лечении больных с ОКС.

Кроме того, статины различаются по своему химическому составу (рисунок 1), фармакокинетике и способности снижать уровень ХС-ЛПНП.

Правильное лечение пациентов с гиперхолестеринемией начинается с понимания того, что не все паци-

енты одинаковы и что лечение должно быть индивидуализированным. Первым шагом является определение общего сердечно — сосудистого риска пациента (рисунок 2). В зависимости от конкретной категории вероятности развития ССЗ каждого больного, конкретные терапевтические цели для холестерина ЛПНП должны быть достигнуты. Помимо сердечно — сосудистого риска, следует учитывать характеристики пациентов и возможные побочные эффекты препаратов у конкретных категорий пациентов.

#### Применение статинов при остром коронарном синдроме (ОКС)

В последние годы был достигнут заметный прогресс в понимании патогенеза ОКС. Было обнаружено, что несколько путей участвует в развитии коронарной нестабильности, при этом активация воспалительных

Таблица 1. Сравнительная характеристика эффективности аторвастатина и розувастатина в снижении уровня ХС-ЛНП у разных категорий пациентов.

СТАТИНЫ, ДОЗА	АТЕРОСКЛЕРОЗ % ИЗМ. ЛНП	ГИПЕРЛИПИДЕМИЯ % ИЗМ.ЛНП	СД-2 %ИЗМ. ЛНП
Аторваста-тин 80 мг/сут	N = 31; -49%	N= 54; -52%	N=31; -50%
Розуваста-тин 40 мг / сут	N=42; — 54%	N=81; -57%	N=52; -55%

механизмов, вероятно, играет важную роль в дестабилизации атеросклеротической бляшки. На основании патологоанатомических и ангиографических исследований было установлено, что растрескивание и разрыв бляшки является триггером коронарного тромбоза, который в большинстве случаев является причиной ОКС. Поддающиеся разрушению атеросклеротические бляшки можно идентифицировать по определенным гистологическим признакам: обычно они содержат большой пул липидов, скопление макрофагов, фиброзный колпачок. Как упоминалось выше, статины высокоэффективны для лечения дислипидемий. Они значительно снижают уровень общего холестерина, холестерина ЛПНП и триглицеридов, а также повышают уровень холестерина липопротеинов высокой плотности (ХС-ЛПВП) после нескольких недель терапии. Однако статины оказывают также множество различных нелипидных эффектов, известных как “плейотропные эффекты”, о которых говорилось выше. Таким образом, обнаружение этих плейотропных эффектов убедительно подтверждает концепцию использования статинов для лечения ОКС.

#### Побочные эффекты от приема статинов

Статины, как правило, относятся к безопасным препаратам и хорошо переносятся. Наиболее распространенным симптомом, о котором сообщается, являются мышечные боли (миалгии) или судороги, которые могут возникать у 5–10% людей. Рабдомиолиз является наиболее серьезным побочным эффектом при использовании статинов, хотя он возникает довольно редко (менее 0,1%). Наиболее распространенными факторами риска развития миопатии, связанной со статинами, являются гипотиреоз, полипрагмазия и злоупотребление алкоголем. Пациентов часто можно перевести на другой статин или более низкую дозу, которая лучше переносится. У небольшого числа людей может развиваться сахарный диабет во время приема статинов. Серьезные побочные эффекты возникают редко. Беременным женщинам не следует принимать статины поскольку они могут быть токсичными для развивающегося плода.

#### Цель и методы исследования

Оценить эффективность ранней высокоинтенсивной терапии аторвастатином у пациентов с ОКС.

Для оценки эффективности статинотерапии в исследование было включено 75 пациентов, из которых 55 мужчин и 20 женщин в возрасте от 50 до 70 лет, госпитализированных в отделение интенсивной терапии с диагнозом ОКС. Всем пациентам определяли уровень тропонина, липидов крови, СРБ (С-реактивный белок), креатинин, трансаминазу и тд.

#### Результаты исследования

У больных с ОКС в первые двое суток после госпитализации были выявлены атерогенные изменения липидов крови, высокие уровни маркеров воспалительных реакций. Прием аторвастатина в дозировке 80 мг / сут оказал стабилизирующее влияние на показатели липидного спектра крови. Уже через месяц применения препарата заметно снизилось содержание общего холестерина, ХС-ЛПНП. Благоприятный эффект аторвастатина развивается уже в первый месяц лечения, не вызывая тяжелых осложнений.

Главная цель применения статинов — замедление прогрессирования атеросклероза, который, в свою очередь, снижает риск развития сердечно — сосудистых заболеваний. Эффективность этой группы препаратов доказана в рандомизированных клинических исследованиях 4S, HPS, ASCOT-LLA, LIPID. В них было установлено, что длительное применение статинов уменьшает количество повторных случаев осложнения ИБС, инфаркта миокарда, стенокардии на 25–30%. В настоящее время к общедоступным статинам относятся 7 видов: ловастатин, правастатин, симвастатин, флувастатин, аторвастатин, розувастатин, питавастатин. Среди всех перечисленных препаратов особое место занимает розувастатин. Гидрофильные свойства этого препарата обеспечивают его высокую селективность по отношению к гепатоцитам, чем к другим тканям, что дает основание считать розувастатин более безопасным по сравнению с другими статинами. Он

имеет наиболее длительный период полувыведения (20 ч).

Мы произвели сравнительную характеристику эффективности обоих препаратов (аторвастатин 80 мг / сут и розувастатин 40 мг / сут) в снижении уровня ХС-ЛНП у разных категорий пациентов. Для исследования были взяты больные с атеросклеротическими заболеваниями ССС, с сахарным диабетом 2 типа (СД-2), с гиперлипидемией (ХС>4,1 ммоль / л). Результаты исследования приведены в таблице 1.

Из данных, приведенных в таблице, можно заметить, что эффективность розувастатина выше, чем у аторвастатина. Во всех клинических случаях, описанных в таблице, розувастатин способствовал большему снижению уровня ХС-ЛНП в процентных соотношениях.

## Заключение

Статины были введены в клиническую практику как гиполипидемические препараты для лечения заболеваний с высоким уровнем холестерина в крови. Показана их высокая эффективность у пациентов с гиперхолестеринемией для первичной и вторичной профилактики ИБС. Их действительность при вторичной профилактике была продемонстрирована в крупных клинических исследованиях заболеваемости и смертности с участием пациентов со стабильной ИБС. Позже было замечено, что статины оказывают благоприятное действие не только при гиперхолестеринемии, но и у больных с нормальным и низким уровнем холестерина. Открытие плеiotропных эффектов статинов дало возможность для новых показаний к лечению статинами

## ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по кардиологии под редакцией Е.И. Чазова в четырех томах, том 3; 2014 год; стр 15–59, 59–119, 155–383
2. Шальнова С.А., Деев А.Д. Ишемическая болезнь сердца в России: распространенность и лечение (по данным клинико-эпидемиологических исследований) // Терапевтический архив. — 2011. — № 1. — С. 7–12
3. М.В. Малишевский, С.М. Пантелеев, С.Л. Галян, Е.В. Жданова. Внутренние болезни, том 1, издание 5, 2020. Стр 594–749
4. Внутренние болезни под редакцией академика РАМН В.С. Моисеева, А.И. Мартынова, Н.А. Мухина, третье издание, 2012. Стр 23–55, 55–115
5. Внутренние болезни: учебник. — 6-е изд., перераб. и доп. / В.И. Маколкин, С.И. Овчаренко, В.А. Сулимов. — 2012 г. — 789 с ил. (Ред. Дмитриев А.И., 2014 г.) Стр: 345–347; 368–371; 383–386
6. Берславская Е.Б. Атеросклероз. Современный взгляд на лечение и профилактику / Е.Б. Берславская. — М.: ИГ «Весь», 2013. — с. 128
7. Внутренние болезни. Сердечно-сосудистая система: Учебное пособие. 3-е изд | Струтынский Андрей Владиславович, Ройтберг Григорий Ефимович; 2013 год Стр. 399–406
8. Болезни сердечно-сосудистой системы: клиника, диагностика
9. и лечение: учеб. пособие / Д.И. Трухан, С.Н. Фили-
10. монов. — Санкт-Петербург: СпецЛит, 2016. — 319 с. — 85–105 стр
11. Учебное руководство «Фармакология» под ред., Харкевича Д.А. 10-е издание, переработанное, дополненное и исправленное; год 2010 Стр. 502–515
12. Н.У. Чамсутдинов, Д.Н. Абдулманапова. Внутренние болезни, 2017. Стр 172–207
13. Nguyen P, Leray V, Diez M, Serisier S, le Bloc’h J, Siliart B, Dumon H. Liver Lipid Metabolism. J Anim Physiol Anim Nutr. 2008; 92: 272–283. doi: 10.1111/j.1439–0396.2007.00752.x.
14. 2008; 92: 272–283. doi: 10.1111/j.1439–0396.2007.00752.x.
15. Клинические рекомендации 2020. Российский кардиологический журнал. 2020;25(11):4083.doi:10.15829/1560–4071–2020–4083.

# ОСОБЕННОСТИ БИОМЕХАНИКИ ТВЁРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБОВ ПРИ ЗАМЕЩЕНИИ ДЕФЕКТОВ ЗУБОВ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИМИ РЕСТАВРАЦИЯМИ

## FEATURES OF THE BIOMECHANICS OF HARD TISSUES OF TEETH WHEN REPLACING TOOTH DEFECTS WITH METAL-CERAMIC RESTORATIONS

**K. Barkovets  
A. Efimin**

*Summary.* The health of the hard tissue of the teeth, the periodontium, plays an important role in the durability of dentures. The issues of comparative assessment of hard tissue of teeth when replacing with prosthetic structures are complex and not fully understood. The article presents an overview of statistical data on the technical, clinical aspects of the biomechanics of ceramic-metal prostheses, the interaction between dental hard tissues and prosthetic restorations.

*Keywords:* metal-ceramic restorations, meta-analysis, cermet, crown, fixed dentures.

**Барковец Константин Николаевич**

Аспирант, Белгородский государственный  
национальный исследовательский университет  
barkovec\_k73@mail.ru

**Ефимин Александр Викторович**

Аспирант, Белгородский государственный  
национальный исследовательский университет  
a-efimin@yandex.ru

*Аннотация.* Здоровье твердой ткани зубов, пародонта играет важную роль в долговечности протезов. Вопросы сравнительной оценки твердой ткани зубов при замещении протезными конструкциями сложны и до конца не изучены. В статье представлен обзор статистических данных о технических, клинических аспектах биомеханики металлокерамических протезов, взаимодействии между твердыми тканями зубов и протезными реставрациями.

*Ключевые слова:* металлокерамика, коронка, несъемные зубные протезы, метаанализ.

**П**равильное планирование лечения и ортопедическое лечение имеют важное значение для долгосрочного эффективного результата ортопедического лечения зубов. Существует тесная связь между ортопедической стоматологией и стоматологией, поскольку здоровье твердой ткани зубов играет важную роль в долговечности несъемных зубных реставраций [1, 2]. С другой стороны, дефектные протезы способствуют прогрессированию заболеваний твердых тканей зуба [3]. Окончательная обработка ортопедической реставрации оказывает влияние на создание биопленки, так как повышенная шероховатость поверхности создает благоприятную среду для роста микробов. Следовательно, необходима качественная отделка поверхности протеза в результате надлежащей технологии изготовления и создание идентичной тождественности между поверхностями [4]. Для достижения успешного результата лечения ортопеды и стоматологи должны сотрудничать, чтобы увеличить долговечность реставрации и улучшить здоровье зубов, а также улучшить качество жизни стоматологических пациентов [5].

## Материал и методы

Статьи о биомеханике твердой ткани зубов и несъемных зубных протезах, искали по ключевым словам металлокерамика, коронка, несъемные зубные протезы в PubMed, Medline, Scopus. Критериями включения являлось: в исследовании изучались только взрослые пациенты; рассматривались сообщения, содержащие информацию о результатах протезирования металлокерамическими реставрациями; использование статистических методов, для оценки и презентации полученных данных.

## Введение

Краевое, а также внутреннее несоответствие с внешним зазором в протезной коронке или несъемном частичном протезе являются критическими факторами, поскольку они влияют на структурную жесткость, краевую целостность и здоровье твердой ткани зуба и пародонта [6]. Точность краевой и внутренней фиксации

тоже имеет значение для конечного результата и приживаемости несъемной ортопедической реставрации. Краевое несоответствие приводит к образованию толстого цемента, на который влияет среда полости рта, что приводит к растворению цемента и отложению зубной биопленки, микропротечкам, изменению цвета краев, повышенному потоку жидкости десневой борозды, созданию условий для рецидивирования кариеса, инфекций пульпы, поражению пародонта и потере костной массы, что приводит к неэффективности протезирования [6]. Следовательно, для защиты твердой ткани зуба, поверхности раздела тканей и биоматериалов, несъемный зубной протез должен быть конгруэнтным, целостным и долговечным [7].

В литературных источниках отмечается, что нет статистически значимых отличий во внутреннем соответствии совмещающихся реставрациях, изготовленных с помощью компьютерного проектирования и автоматизированного производства, но описывается, что чаще наблюдается внутреннее несоответствие реставраций, изготовленных цифровым способом [8,9,10].

В своих исследованиях Sailer I., Makarov N.A. et al. проводили оценку 4663 металлокерамических и 9434 цельнокерамических реставраций. Статистический анализ исследований выявил, что расчетная сохранность металлокерамических реставраций через 5 лет составляла ОШ=94,7%(95%ДИ(94,1–96,9%)). Металлокерамические реставрации имели статистически значимую низкую потерю ретенции ( $p=0,001$ ), статистически значимую долговечность ( $p=0,001$ ) и статистически значимую меньшую потерю удержания ( $p=0,001$ ), по сравнению с цельнокерамическими реставрациями [11].

Исследователи Pjetursson B.E., Sailer I., Makarov N.A. et al. в своих работах проводили оценку 1796 металлокерамических и 1110 цельнокерамических реставраций. Проведенный статистический анализ показал, что оценочная 5-летняя сохранность металлокерамических реставраций составляла ОШ=94,4% (95%ДИ (91,2–96,5%)). Несмотря на то, что показатель сохранности цельнокерамических реставраций был ниже, чем для металлокерамических, статистически значимых отличий между реставрациями не было зарегистрировано. Отмечалась низкая частота развития кариеса в опорных зубах при протезировании металлокерамическими матрицами, но статистически значимых отличий по отношению к керамическим реставрациям не было выявлено. Показатели сохранности металлокерамических реставраций были выше, и потеря ретенции была ниже, по сравнению с цельнокерамическими реставрациями [12].

Исследователи Hu M.L., Lin H., Zhang Y.D., Han J.M. проводили статистическую обработку клинических ре-

зультатов керамических и металлокерамических одиночных коронок с опорой на имплантаты. Проводилось сравнение по показателю приживаемости металлокерамических матриц ОШ=0,84(0,32–2,23), ( $p=0,730$ ), среднее значение краевой адаптации составляло  $Me=0,33(0,19–0,47)$ , ( $p=0,001$ ), среднее значение потери маргинальной кости  $Me=-0,03(-0,07–0,02)$ , ( $p=0,260$ ), среднее значение глубины зондирования кармана  $Me=-0,07(-0,14–0,00)$ , ( $p=0,060$ ), среднее значение соответствия цвета коронки  $Me=-0,15(-0,29–0,00)$ , ( $p=0,040$ ) и обесцвечивание слизистой оболочки стандартное среднее отклонение составляло  $Me=-0,14(-0,86–0,58)$ , ( $p=0,710$ ). Проводилось сравнение сохранности металлокерамических имплантатов ОШ=1,92(1,26–2,94), ( $p=0,003$ ) по отношению к керамическим. Не наблюдалось статистически значимых отличий между керамическими и металлокерамическими реставрациями с точки зрения выживаемости, потери маргинальной кости, глубины зондирования кармана или изменения цвета слизистой оболочки. Тем не менее, металлокерамические имели лучшую краевую адаптацию и худшее соответствие цвета коронки, чем керамические реставрации [13].

Dammaschke T., Nykiel K., Sagheri D., Schäfer E. в своих наблюдениях проводили оценку влияния металлокерамических реставраций на сопротивление переломам эндодонтически пролеченных зубов. Проводилась оценка зубов после среднего периода эксплуатации 9,7(9,6±2,8) лет. В общей сложности 86,2% эндодонтически пролеченных и восстановленных зубов сохранились за средний период наблюдения 9,7 лет без переломов. Общий период сохранности составил 13,6 (13,4±0,2) года. Все зубы с золотыми частичными коронками сохранились без переломов ( $n=24$ ). Зубы с коронками и адгезивно запломбированными полостями доступа показали средний срок сохранности 15,3(15,1±0,4) года, с коронками и мостовидными протезами 14,0(13,7±0,3), с отдельными металлическими штифтами 13,9(13,2±0,2), с композитными пломбами 13,4 (13,1±0,5), со сборными металлическими штифтами 12,7(12,6±0,6), с пломбами из амальгамы 11,8(11,7±0,6). Зубы с одной или двумя поверхностями, восстановленными амальгамой, композитом показали статистически значимую низкую частоту переломов, чем зубы с тремя и более восстановленными поверхностями ( $p=0,05$ ). Средняя частота переломов зубов, восстановленных с пломбы, была статистически значимо выше по сравнению со всеми другими группами ( $p=0,001$ ). В целом, эндодонтически пролеченные зубы, восстановленные с помощью протезов, продемонстрировали значительно более низкую среднюю частоту переломов, чем зубы, восстановленные с помощью пломб [14].

В своих исследованиях Kinsel R.P., Lin D. проводили клинический анализ у 152 пациентов с 998 стоматологиче-

ческими установками (390 одиночных коронок и 94 несъемных частичных протеза), поддерживаемых 729 имплантатами. Было зарегистрировано у 35 пациентов 94 фарфоровых перелома зубных единиц. Переломы были статистически значимо ( $p=0,05$ ) взаимосвязаны с наличием противоположных металлокерамических реставраций с опорой на имплантаты, бруксизмом и отсутствием защитного окклюзионного устройства. Металлокерамические протезы (одиночная коронка или несъемные частичные протезы) имели в 7 раз более высокую вероятность перелома фарфора  $OШ=7,06(95\%ДИ(2,57-19,37))$ , и в 13 раз большую вероятность перелома, требующего либо восстановления, либо замены  $OШ=13,95(95\%ДИ(2,25-86,41))$  при окклюзии с другой реставрацией, поддерживаемой имплантатом, по сравнению с естественным зубом. Было отмечено, что одиночные коронки из металлокерамики с опорой на имплантаты и несъемные частичные протезы имели значительно более высокий риск перелома фарфора у пациентов с привычками к бруксизму, когда не используется защитное окклюзионное устройство, а также когда реставрация противостоит другой металлокерамике с опорой на имплантаты [15].

Влияние несъемных ортопедических конструкций, изготовленных из различных биоматериалов и технологий, на здоровый и патологический пародонт исследовали Spagnuolo, G., Desiderio, C., Rivieccio, V. et al. Отсутствующие зубы у пациентов с частичной адентией были восстановлены с помощью обычного керамического протеза, созданного на основе кобальт-хрома и на основе диоксида циркония, изготовленных с помощью компьютерного проектирования и автоматизированного производства. Состояние полости рта вместе с пародонтом оценивали до и после установки протезов с использованием различных пародонтологических и гигиенических индексов, таких как модифицированный апроксимальный индекс зубного налета и общий пародонтальный индекс. Дополнительно определяли биотип десны с помощью метода прозрачности зонда. Через 12 месяцев ортопедического лечения среднее значение индекса зубного налета практически не изменилось у пациентов с диагностированным пародонтитом как с традиционными реставрациями на основе кобальт-хрома, так и на основе диоксида циркония [7].

Несъемные протезные конструкции могут вызывать воспаление, высвобождение провоспалительных цитокинов и хемокинов, запускающих адаптационные механизмы иммунитета, активацию клеточного и гуморального иммунитета. Эти иммунные процессы играют решающую роль в формировании хронизации воспалительного очага или же активации регенераторных функций с восстановлением поврежденных тканей и с последующей синхронизацией местного гомеостаза. Ercoli и Caton в своих публикациях отметили, что

накопление зубного налета и потеря пародонтального прикрепления коррелируют с типом ортопедических реставраций. Край реставрации, расположенный вблизи соединительного эпителия, может вызвать воспаление пародонта и рецессию десны [16,17].

Наиболее частыми жалобами у испытуемых после протезирования с использованием металлокерамических реставраций традиционного изготовления были изменение цвета десневого сосочка, потемнение краев реставрации и развитие гингивита. Тем не менее, эти клинические симптомы отсутствовали при изготовлении металлокерамических реставраций по компьютерным технологиям, что возможно обусловлено улучшенной краевой адаптацией металлического базиса [18].

Все реставрации находятся в химически сложной среде полости рта с неконтролируемыми нагрузочными элементами, такими как жевательная нагрузка, изменения температуры и pH среды. На эффективность конструкции протеза оказывают влияние биоматериалы, технологии изготовления, навыки техника или факторы, связанные с пациентом.

Биофункциональность протеза относится к функции, которая зависит от биологического содержания. Срок службы металлокерамических конструкций зависит от состояния пародонта опорных зубов, так как слизистая оболочка в этой области подвержена постоянным механическим травмам и бактериальному обсеменению [19,20]. Таким образом, многочисленные факторы, такие как состояние опорных зубов, конструкция промежуточного звена, направление конструкции протеза, окклюзия и биоматериал реставраций оказывают ощутимое влияние на долговечность реставрационной конструкции и должны учитываться при планировании ортопедического лечения.

## ВЫВОДЫ

Перед началом ортопедического лечения необходимо оценить состояние твердых тканей зуба на предмет их гигиенического статуса, а также состояние десен и пародонта. В целом, металлокерамические реставрации имеют статистически значимую износостойкость, меньшую потерю удержания, лучшую краевую адаптацию, низкий процент заболеваемости кариесом, но имеют худшее соответствие цвета коронок.

Реставрации, изготовленные по компьютерным технологиям, обеспечивают лучшие результаты с точки зрения краевого прилегания, уменьшения воспаления, обслуживания и восстановления здоровья пародонта и гигиены полости рта по сравнению с конструкциями, изготовленными традиционным методом и из других сплавов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Muddugangadhar, B.C.; Siddhi, T.; Suchismita, D. Prosthodontic-restorative interrelationship: A major junction. *J. Adv. Oral Res.* 2011, 2, 7–12. <https://doi.org/10.1177/2229411220110102>
2. Mojon, P.; Rentsch, A.; Budtz-Jørgensen, E. Relationship between prosthodontic status, caries, and periodontal disease in a geriatric population. *Int. J. Prosthodont.* 1995, 8, 564–571. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8595117/>
3. Avetisyan, A.; Markaryan, M.; Rokaya, D.; Tovani-Palone, M.R.; Zafar, M.S.; Khurshid, Z.; Vardanyan, A.; Heboyan, A. Characteristics of periodontal tissues in prosthetic treatment with fixed dental prostheses. *Molecules* 2021, 26, 1331. <https://doi.org/10.3390/molecules26051331>
4. Hao, Y.; Huang, X.; Zhou, X.; Li, M.; Ren, B.; Peng, X.; Cheng, L. Influence of dental prosthesis and restorative materials interface on oral biofilms. *Int. J. Mol. Sci.* 2018, 19, 3157. <https://doi.org/10.3390/ijms19103157>
5. Yin, X.J.; Wei, B.Y.; Ke, X.P.; Zhang, T.; Jiang, M.Y.; Luo, X.Y.; Sun, H.Q. Correlation between clinical parameters of crown and gingival morphology of anterior teeth and periodontal biotypes. *BMC Oral Health* 2020, 20, 59. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-1040-x>
6. Heboyan, A. Marginal and internal fit of fixed prosthodontic constructions: A literature review. *Int. J. Dent. Res. Rev.* 2019, 2, 19. <https://doi.org/10.1590/pboci.2022.010>
7. Spagnuolo, G.; Desiderio, C.; Riviaccio, V.; Amato, M.; Rossetti, D.V.; D'Antò, V.; Schweikl, H.; Lupi, A.; Rengo, S.; Nocca, G. In vitro cellular detoxification of triethylene glycol dimethacrylate by adduct formation with N-acetylcysteine. *Dent Mater.* 2013, 29, e153–60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2013.04.023>
8. Keshvad, A.; Hooshmand, T.; Asefzadeh, F.; Khalilnejad, F.; Alihemmati, M.; Van Noort, R. Marginal gap, internal fit, and fracture load of leucite-reinforced ceramic inlays fabricated by cerec inlab and hot-pressed techniques. *J. Prosthodont.* 2011, 20, 535–540. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849x.2011.00745.x>
9. Guess, P.C.; Vagkopoulou, T.; Zhang, Y.; Wolkewitz, M.; Strub, J.R. Marginal and internal fit of heat pressed versus cad/cam fabricated all-ceramic onlays after exposure to thermo-mechanical fatigue. *J. Dent.* 2014, 42, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.10.002>
10. Freire, Y.; Gonzalo, E.; Lopez-Suarez, C.; Suarez, M.J. The marginal fit of cad/cam monolithic ceramic and metal-ceramic crowns. *J. Prosthodont.* 2019, 28, 299–304. <https://doi.org/10.1111/jopr.12590>
11. Sailer I, Makarov NA, Thoma DS, Zwahlen M, Pjetursson BE. All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs) [published correction appears in *Dent Mater.* 2016 Dec;32(12): e389-e390]. *Dent Mater.* 2015;31(6):603–623. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.02.011>
12. Pjetursson BE, Sailer I, Makarov NA, Zwahlen M, Thoma DS. All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part II: Multiple-unit FDPs [published correction appears in *Dent Mater.* 2017 Jan;33(1): e48-e51]. *Dent Mater.* 2015;31(6):624–639. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.02.013>
13. Hu ML, Lin H, Zhang YD, Han JM. Comparison of technical, biological, and esthetic parameters of ceramic and metal-ceramic implant-supported fixed dental prostheses: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent.* 2020;124(1):26–35.e2. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.07.008> Kekici, A.; Kantarci, A.; Hasturk, H.; Van Dyke, T.E. Inflammatory and immune pathways in the pathogenesis of periodontal disease. *Periodontol.* 2000 2014, 64, 57–80. <https://doi.org/10.1111/prd.12002>
14. Dammaschke T, Nykiel K, Sagheri D, Schäfer E. Influence of coronal restorations on the fracture resistance of root canal-treated premolar and molar teeth: a retrospective study. *Aust Endod J.* 2013;39(2):48–56. <https://doi.org/10.1111/aej.12002>
15. Kinsel RP, Lin D. Retrospective analysis of porcelain failures of metal ceramic crowns and fixed partial dentures supported by 729 implants in 152 patients: patient-specific and implant-specific predictors of ceramic failure [published correction appears in *J Prosthet Dent.* 2009 Aug;102(2):80]. *J Prosthet Dent.* 2009;101(6):388–394. doi:10.1016/S0022-3913(09)60083-4 [https://doi.org/10.1016/s0022-3913\(09\)60083-4](https://doi.org/10.1016/s0022-3913(09)60083-4)
16. Ercoli, C.; Caton, J.G. Dental prostheses and tooth-related factors. *J. Clin. Periodontol.* 2018, 45 (Suppl. S20), S207–S218. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12950>
17. Reich, S.; Gozdowski, S.; Trentzsch, L.; Frankenberger, R.; Lohbauer, U. Marginal fit of heat-pressed vs. Cad/cam processed all-ceramic onlays using a milling unit prototype. *Oper. Dent.* 2008, 33, 644–650. <https://doi.org/10.2341/07-162>
18. Diaz, P.I.; Chalmers, N.I.; Rickard, A.H.; Kong, C.; Milburn, C.L.; Palmer, R.J., Jr.; Kolenbrander, P.E. Molecular characterization of subject-specific oral microflora during initial colonization of enamel. *Appl. Environ. Microbiol.* 2006, 72, 2837–2848. <https://doi.org/10.1128/aem.72.4.2837-2848.2006>
19. Pihlstrom, B.L. Periodontal risk assessment, diagnosis and treatment planning. *Periodontol.* 2000 2001, 25, 37–58. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0757.2001.22250104.x>
20. Kazmi, S.M.R.; Iqbal, Z.; Muneer, M.U.; Riaz, S.; Zafar, M.S. Different pontic design for porcelain fused to metal fixed dental prosthesis: Contemporary guidelines and practice by general dental practitioners. *Eur. J. Dent.* 2018, 12, 375–379. [https://doi.org/10.4103/ejd.ejd\\_232\\_18](https://doi.org/10.4103/ejd.ejd_232_18)

© Барковец Константин Николаевич (barkovec\_k73@mail.ru), Ефимин Александр Викторович (a-efimin@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ЭНДОДОНТИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ МОЛЯРА НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ С ПЯТЬЮ КОРНЕВЫМИ КАНАЛАМИ. КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

## ENDODONTIC TREATMENT OF THE MANDIBULAR MOLAR WITH FIVE ROOT CANALS. CLINICAL CASE

**G. Budaichiev  
N. Medzhidova  
M. Maschilieva  
P. Budaichieva  
F. Mamedov**

*Summary.* Successful endodontic treatment requires careful knowledge Dagestan State Medical University, Makhachkala of root canal morphology and its variations in order to find and process all channels. This article presents an effective method of endodontic treatment of teeth with complex root canal anatomy.

*Keywords:* endodontics, mandibular molar, root canal, morphology of root canals.

**Будайчиев Гасан Магомед-Алиевич**

*К.м.н., ассистент, Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала  
gasan.budaychiev005@mail.ru*

**Меджидова Наида Меджидовна**

*Ассистент, Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала*

**Мащилиева Мадина Мурадовна**

*К.м.н., ассистент, Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала*

**Будайчиева Патимат Магомедалиевна**

*Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала*

**Мамедов Ферзи Султанович**

*Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала*

*Аннотация.* Успешное эндодонтическое лечение требует тщательного знания морфологии корневых каналов и ее вариаций для того чтобы найти и обработать все каналы. В настоящей статье приведён эффективный метод эндодонтического лечения зубов со сложной анатомией корневых каналов.

*Ключевые слова:* эндодонтия, моляр нижней челюсти, корневой канал, морфология корневых каналов.

## Введение

Успех эндодонтического лечения зависит от качества формирования, очистки и трехмерного пломбирования системы каналов. Классически, как утверждали несколько авторов, типичные конфигурации каналов были назначены каждому типу зубов [1,2]. Тем не менее может наблюдаться анатомическая изменчивость, особенно в молярах. Такую изменчивость следует принимать во внимание во время терапевтических процедур для предотвращения большого количества незапломбированных каналов и, следовательно, низкого показателя эффективности лечения.

Совершенствование диагностических инструментов, использование оптических устройств и трехмерной визуализации позволяют выявить широкие анатомические вариации мезиальных и дистальных корней моляров нижней челюсти [5, 6]. Эти анатомические особенности часто связаны с этнической принадлежностью и возрастом [3].

В мезиальном корне обычно обнаруживаются каналы с двумя или тремя каналами (0,4–18%) [2].

Исследования дистальных корней, в которых есть сообщения о существовании третьего канала, редки, и его распространенность была отмечена в 3% случаев в зависимости от исследуемой популяции. [4]

## Цель исследования

Целью исследования является повышение эффективности эндодонтического лечения зубов со сложной анатомией корневых каналов.

**Клинический случай.** Пациентка А. 41 год поступила на консультацию в стоматологическую клинику Альтера г. Каспийска. Пациентка пожаловалась на эпизоды спонтанной боли, отдающие в правое ухо и неподдающиеся действию анальгетиков.

Клиническое обследование выявило кариозную полость второго моляра правой нижней челюсти без при-



Рис. 1. Рентгенограмма для определения рабочей длины

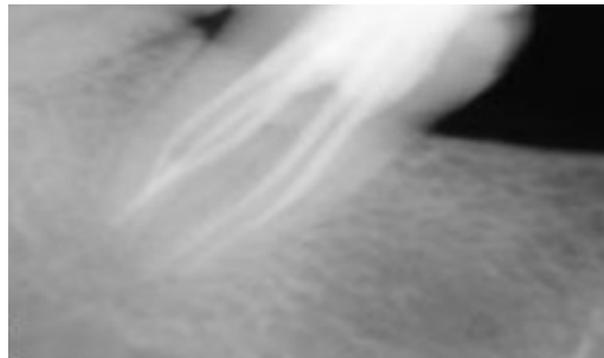


Рис. 2. Диагностическая рентгенограмма качества пломбирования сразу после obturации корневого канала



Рис. 3. Послеоперационное изображение, полученное методом КЛКТ, показывающее пять каналов (2 в мезиальном и 3 в дистальном положении)

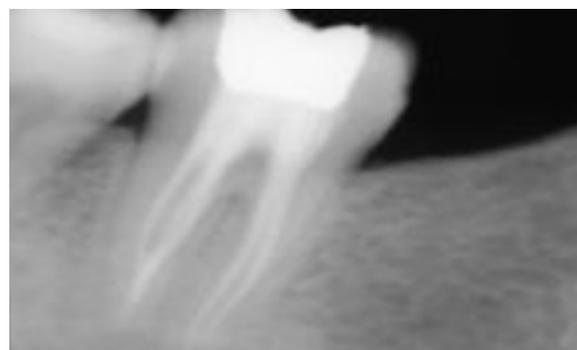


Рис. 4. Контрольная рентгенограмма через 6 месяцев.

пухлости и подвижности зубов. Перкуссия этого зуба была слегка болезненной, а результат теста на жизнеспособность пульпы с тетрафторэтаном (Pharmaethyl) был положительным.

На рентгеновском снимке показано рентгенопрозрачное изображение, указывающее на потерю зубного вещества и близость мезиального рога пульпы.

Был поставлен диагноз необратимый острый пульпит, и было принято решение о проведении биопульпэктомии.

После проведения анестезии нижнечелюстного отверстия 2% раствором лидокаина, изоляцией от слюны и удаления размягченного дентина была произведена подготовка полости к эндодонтическому доступу. Выявлено четыре корневых канала: два в мезиальном корне (мезиовестибулярный (MV), мезиолингвальный (ML)) и два в дистальном корне (дистовестибулярный (DV), дистолингвальный (DL)). Определение рабочей длины производилось рентгенографическим методом (рис. 1).

Анализ этого рентгеновского изображения показал наличие третьего канала в дистальном отделе корня между DV и DL каналами. Орошение проводили 2,5% раствором гипохлорита натрия и этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) (Glyde File Prep, Dentsply-Maillefer, Балаг, Швейцария). Первоначально каналы были подготовлены с использованием ручного файла NiTi ProTaper SX (Dentsply-Maillefer, Балаг, Швейцария). Затем препарирование канала было выполнено механическим способом с использованием файлов Revo S, установленных на эндодонтическом моторе (X Smart Denstply) со скоростью 400 об/мин.

Все каналы были расширены до 30 диаметра. Затем каналы были запломбированы методом холодного латерального уплотнения гуттаперчи (рис. 2), и зуб восстановлен пломбировочным материалом.

Сразу после пломбирования системы корневых каналов был проведен рентгеновский контроль с последующей конусно-лучевой компьютерной томографией

(КЛКТ), подтвердившей наличие пяти отдельных каналов (рис. 3)

Через шесть месяцев апикальных осложнений не выявлено. (рис. 4).

### Обсуждение

Полная обработка эндодонтической системы с последующим ее заполнением является важной процедурой, обеспечивающей долговечность результатов эндодонтического лечения. В литературе встречаются сведения о значительных анатомических изменениях и сложностях строения корневого канала, которые требуют особого внимания в ходе эндоканальной терапии [3,6]. Хоэн и Пинк [7] сообщили о 42% случаев наличия корней и/или незапломбированных каналов в зубах у пациентов, назначенных для повторного эндодонтического лечения.

Цель демонстрации этого случая — способствовать лучшему пониманию анатомической изменчивости моляров нижней челюсти. Этот случай демонстрирует редкую анатомическую конфигурацию и наличие аберраций корневого канала в дистальном корне моляров нижней челюсти. У дистального корня есть три отдельных корневых канала с тремя выходными отверстиями,

которые можно описать как конфигурацию канала типа VIII в соответствии с классификацией Vertucci.

Также есть сообщения о случаях обнаружения моляров с четырьмя каналами в дистальном корне или мезиальном корне.

Таким образом, кажется, что абсолютная уверенность в заранее определенном количестве корней и/или корневых каналов важна, но недостаточна для практики эндодонтии. Диагностические и терапевтические средства, такие как микроскоп или увеличительные очки (бинокляры) для определения местоположения корневых каналов и компьютерная томография (КЛКТ) в качестве дополнения к стандартной рентгенографии полезны в случае подлежащей эндодонтической терапии.

### Выводы

Морфология корневого канала сложна, особенно в молярах нижней челюсти, и может иметь некоторые вариации. Поэтому перед проведением эндодонтического лечения этих зубов необходимо тщательно исследовать систему каналов для успешного лечения корневых каналов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Березин К.А. Особенности лечения корневых каналов сложной конфигурации / К.А. Березин., С.Л. Блашкова., Е.Ю. Старцева // *Фундаментальные исследования*. — 2013. — № 9. — С. 987–990.
2. Будайчиев Г.М. Эндодонтическое лечение первого нижнего моляра со сложной анатомией корневого канала. / Г.М.А. Будайчиев., З.Т. Хижалова., Н.М. Меджидова., М.А. Будайчиева., П.М. Будайчиева. // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. — 2020. — № 8(2). — С. 69–72.
3. Пиванкова, Н.Н. Моделирование микробной биоплёнки корневого канала / Н.Н. Пиванкова, О.В. Тонко // *Актуальные вопросы профилактики, диагностики и лечения стоматологических заболеваний: сб. науч. тр. Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 20-летию 2-й каф. тер. стоматологии УО «Белорус. гос. мед. ун-т» и юбилею проф. Леуса П.А., Минск, 18 мая 2018 г. / под общ. ред. Т.Н. Манак, Л.Г. Борисенко. — Минск: БГМУ, 2018. — С. 124–126.*
4. 2. Del Fabbro M.A. Endodontic therapy using magnification devices: a systematic review. / M.A Del Fabbro, S.F. Taschieri // *J Dent*. — 2010. — Vol.38(4). — P. 269–75.
5. L.U. Tang. Tooth anatomy risk factors influencing root canal working length accessibility. / Tang L.U., T.Q. Sun // *J Oral Sci*. — 2011. — Vol.3. — P. 135–40.
6. Mounce R.E. Discussion of a complex endodontic case: when to refer. / R.E. Mounce // *Dent Today*. — 2009. — Vol.28. — P. 110–111.
7. Piasecki L.O. Accuracy of Root ZX II in locating foramen in teeth with apical periodontitis: an in vivo study/ L.O. Piasecki, E.A. Carneiro, L.F. Fariniuk, V.P. Westphalen, Florentin MA // *J Endod*. — 2011. — Vol.37. — P. 1213–1216.
8. Hashem A.A.R. The effect of acidity on dislodgement resistance of mineral trioxide aggregate and bioaggregate in furcation perforations: an in vitro comparative study / Hashem A.A.R. // — *J Endod*. — 2012. — Vol.38. — P. 245–249.
9. Hoen M.M. Contemporary endodontic retreatments: An analysis based on clinical treatment findings. / Hoen M.M, F.E. Pink // *J Endod*. — 2006 — Vol.28. — P. 834–836.

© Будайчиев Гасан Магомед-Алиевич ( gasan.budaychiev005@mail.ru ), Меджидова Наида Меджидовна,

Машильева Мадина Мурадовна, Будайчиева Патимат Магомедалиевна,

Мамедов Ферзи Султанович.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВСТРЕЧАЕМОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПАРОДОНТА У БЕРЕМЕННЫХ

## THE OCCURRENCE OF VARIOUS FORMS OF PERIODONTAL DISEASES IN PREGNANT WOMEN

V. Zhurbenko  
A. Marinkina

*Summary.* Pregnancy is the most vulnerable period for the occurrence of dental pathology. Pregnancy and inflammatory periodontal diseases are closely interrelated with each other. Periodontal diseases and other dental pathology can significantly complicate the course of pregnancy and negatively affect its outcome, therefore, constant monitoring of the oral cavity of pregnant women by a dentist is necessary.

*Keywords:* morbidity, periodontal disease, pregnancy, gingivitis, periodontitis.

**Журбенко Вероника Александровна**  
Курский Государственный Медицинский  
Университет  
prepvermed@mail.ru

**Маринкина Анастасия Андреевна**  
Курский Государственный Медицинский  
Университет

*Аннотация.* Беременность является наиболее уязвимым периодом для возникновения стоматологической патологии. Беременность и воспалительные заболевания пародонта тесно взаимосвязаны друг с другом. Заболевания пародонта и другая стоматологическая патология может в значительной степени осложнить течение беременности и негативно сказаться на ее исходе, поэтому необходимо постоянное наблюдение за состоянием полости рта беременных женщин у врача-стоматолога.

*Ключевые слова:* заболеваемость, пародонт, беременность, гингивит, пародонтит.

### Введение

**Р**иск возникновения стоматологических заболеваний увеличивается в период беременности. Наиболее распространенной стоматологической патологией в период беременности является кариес и заболевания пародонта.

По статическим данным, распространенность заболеваний пародонта у беременных пациентов достигает почти 90% [5]. Наиболее часто в период беременности встречаются воспалительные процессы в пародонте — гингивит и пародонтит. Течение воспалительных заболеваний варьируется и определяется от индивидуальных особенностей организма. Наличие сопутствующих заболеваний у беременных со стороны желудочно-кишечного тракта, щитовидной железы или сердечно-сосудистой системы в значительной степени осложняют течение стоматологической патологии [3]. Инфекционный процесс является матрицей для развития заболеваний пародонта, с которым связано наличие бактериальной флоры. Состав бактериальной микрофлоры при заболеваниях пародонта многообразен -*Porphyromonas gingivalis*, *Treponema denticola*, *Actinomycetem comitans*, *Vielonella recta*.

Ведущую роль в формировании патологии со стороны тканей пародонта у беременных служат многие факторы, среди которых гормональная перестройка

в организме беременных пациентов, иммуносупрессия, некачественная гигиена полости рта, наличие сопутствующей патологии, некачественные протезы и реставрации [1,4].

### Цель исследования

Изучение состояния тканей пародонта у беременных.

### Материалы и методы

В исследовании принимали участие 130 беременных женщин, находившихся на разных сроках беременности. Распределение беременных женщин в зависимости срока беременности представлено в таблице 1.

Для реализации поставленной цели проводился тщательный сбор анамнеза, стоматологический осмотр, индексная оценка состояния тканей пародонта с помощью пародонтального индекса. Выясняли особенности гигиены полости рта, используя упрощенный индекс гигиены по Green — Vermillion.

### Результаты

В результате проведенного исследования было выявлено, что заболевания пародонта были выявлены у 90 беременных пациенток. Согласно результатам кли-

Таблица 1. Количество обследованных беременных женщин, распределенных по триместрам

Триместр	Количество беременных женщин
Первый триместр	37
Второй триместр	55
Третий триместр	38

Таблица 2. Распределение пациентов по форме выявленного заболевания пародонта

Форма заболевания пародонта	Количество обследуемых пациентов	
	Абсолютное число	%
Хронический локализованный катаральный гингивит	47	52
Хронический генерализованный катаральный гингивит	9	10
Хронический генерализованный пародонтит легкой степени	34	38

нического обследования, у 46 (52%) пациенток выявлен хронический локализованный катаральный гингивит, у 34 (38%) — хронический генерализованный пародонтит легкой степени, и у 10 (10%) обследуемых — хронический генерализованный катаральный гингивит соответственно.

Распределение пациентов по выявленной форме заболевания пародонта указаны в таблице 2.

Пациенты с выявленным локализованным хроническим катаральным гингивитом на стоматологическом осмотре предъявляли жалобы на периодическую возникающую болевую реакцию во время чистки зубов, неприятный запах изо рта и кровоточивость десен. Упрощенный индекс гигиены полости равен  $1,9 \pm 0,04$ . Данные значения индекса говорят о неудовлетворительной гигиене полости рта.

Основные жалобы, предъявляемые группой пациентов, страдающих хроническим генерализованным катаральным гингивитом, являлись, кровоточивость десен при приеме пищи и индивидуальной гигиене полости рта, зуд в области десен, неприятный запах изо рта. При объективном обследовании на стоматологическом приеме выявлена гиперемия, и отечность маргинальной части десны, выявлены поддесневые и наддесневые зубные отложения. Значение упрощенного индекса гигиены составляет  $2,1 \pm 0,05$ , что соответствует неудовлетворительной гигиене полости рта.

Беременные пациенты с хронической формой генерализованного пародонтита лёгкой степени на стоматологическом осмотре предъявляли жалобы на периодическое появление кровоточивости десен при приеме жесткой пищи и чистке зубов, а также неприятные ощущения в области десен и неприятный запах изо рта. При

объективном осмотре обнаружена цианотичная маргинальная часть десны, глубина пародонтальных карманах варьируется от 3–3,5 мм.

В результате данного обследования у большинства обследованных беременных женщин были выявлены зубные отложения.

Значения определяемых индексов, следующие: упрощенный индекс гигиены полости рта равен  $2,2 \pm 0,05$ , пародонтальный индекс соответствует  $0,1 \pm 0,07$ .

Основными причинами развития воспалительных заболеваний пародонта является изменения в иммунологическом и гормональном статусе беременных женщин, а также неудовлетворительная гигиена полости рта.

Гормональная перестройка и изменение иммунологического статуса в организме характерна для беременности и является причиной развития заболеваний пародонта. Важную роль в развитии воспалительных реакций пародонта, со стороны иммунной системы, отводят клеточному составу иммунной системы и цитокинам. Отмечается повышение противовоспалительных цитокинов в крови и в ротовой жидкости, снижение относительного числа общей популяции лимфоцитов, зрелых Т-лимфоцитов, Т-хелперов [2].

Увеличение концентраций прогестерона и эстрогена во время беременности ведет к усилению десневой экссудации и изменения гигиенических индексов [6].

Неудовлетворительная гигиена полости рта является одним из главных рычагов развития воспалений в пародонте. У всех обследуемых пациентов, при стоматологическом осмотре оценивался упрощенный

индекс гигиены по Green — Vermillion, которых в 100% случаев был неудовлетворительный. Неудовлетворительная гигиена полости рта приводит к наличию значительного числа анаэробной микрофлоры в пародонтальных карманах, что приводит к хроническому скоплению инфекции в полости рта, что в последствие может привести к возникновению патологии течения беременности [6].

Для предупреждения развития воспалительных заболеваний пародонта у беременных необходима своевременная профилактика данных заболеваний. Важно отметить, что необходима совместная работа акушер-гинеколога и врача-стоматолога для предупреждения развития воспалительных заболеваний пародонта на протяжении всей беременности.

Беременным пациентам, в первую очередь, на приеме у врача-стоматолога необходимо дать подробный комплекс мероприятий по индивидуальной гигиене полости рта:

1. Зубная щетка должна иметь мягкую щетину. Использовать можно как мануальную, так и электрическую зубную щетку.
2. Необходимо чаще менять зубную щетку в период беременности — 1 раз в 3 месяца.

3. Зубные пасты при заболеваниях пародонта должны иметь в своем составе экстракты лечебных трав — ромашки, шалфея, календулы.
4. Частота чистки зубов должна быть не менее 2–3 раз. Продолжительность чистки зубов должна быть не менее 2–3 минут.
5. Дополнительные средства для индивидуальной гигиены полости рта являются неотъемлемой частью ухода за полостью рта. Рекомендовано применение зубной нити для очищения апроксимальных поверхностей зуба, использование ополаскивателей, содержащие в своем составе антисептики в течение 7 дней.
6. Ирригатор является хорошим средством для профилактики заболеваний пародонта, так как мощная струя воды не только очищает от остатков пищи, но и оказывает массажное действие на десны, улучшая их кровоснабжение.

## ВЫВОДЫ

Исследования показали высокую степень заболеваемости пародонта среди беременных. Для предотвращения возникновения данной патологии необходимо проведение профилактических мероприятий в течение всего периода беременности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абдулмеджидова, Д.М. Факторы риска развития заболеваний пародонта у взрослого населения / Д.М. Абдулмеджидова // Российский стоматологический журнал. — 2017. — Т. 21. — № 2. — С. 72–75.
2. Иммунологические аспекты протекания воспалительных заболеваний пародонта у беременных женщин / В.А. Проходная, С.Ю. Максюков, Г.Г. Харсеева, А.А. Демидова // Российская стоматология. — 2014. — Т. 7. — № 1. — С. 42–45.
3. Кисельникова, Л.П. Стоматологический статус и профилактика стоматологических заболеваний у беременных / Л.П. Кисельникова, Н.С. Попова // Институт стоматологии. — 2011. — № 1(50). — С. 86–87.
4. Маринкина, А.А. Факторы риска развития заболеваний пародонта / А.А. Маринкина, В.А. Журбенко // Актуальные проблемы медико-биологических дисциплин: Сборник научных трудов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием молодых ученых, аспирантов, студентов, Саранск, 20 мая 2021 года. — Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2021. — С. 181–186.
5. Проходная, В.А. Современные особенности трендов и уровня заболеваемости пародонтитом среди беременных женщин на примере Ростовской области / В.А. Проходная, А.С. Ломова, С.О. Сурменева // Аспирант. — 2014. — № 4. — С. 29–33.
6. Стоматологический статус и профилактика стоматологических заболеваний у беременных / С.В. Микляев, И.А. Микляева, О.М. Леонова [и др.] // Актуальные проблемы медицины. — 2021. — Т. 44. — № 1. — С. 68–78.

© Журбенко Вероника Александровна ( prepvermed@mail.ru ), Маринкина Анастасия Андреевна.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РОЛЬ ВНЕКЛЕТОЧНЫХ ВЕЗИКУЛ В НАРУШЕНИИ ГЕМОСТАЗА И В РАЗВИТИИ АТЕРОТРОМБОЗА ПРИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

## ROLE OF EXTRACELLULAR VESICLES IN HEMOSTASIS DISTURBANCE AND IN THE DEVELOPMENT OF ATHEROTROMBOSIS IN CARDIOVASCULAR DISEASES (LITERATURE REVIEW)

I. Lomova

The review considers the data of recent scientific research devoted to the study of the role of extracellular vesicles (EVs), membrane nanoparticles released by cells during activation, in the occurrence and progression of cardiovascular diseases (CVD). The role of EVs in hemostasis disorders, in the development of atherosclerosis, in the growth and instability of an atherosclerotic plaque, and in atherothrombosis has been analyzed. It was found that EVs are early markers and predictors of the development of CVD, their use will open up new approaches in diagnosis, prognosis, monitoring the effectiveness of treatment, as well as new therapeutic agents. The use of native or bioengineered EVs may represent new drug delivery tools to combat inflammation, atherosclerosis, and atherothrombosis.

*Keywords:* extracellular vesicles, atherothrombosis, cardiovascular diseases, disease predictors and markers, nanoparticles in diagnostics and treatment.

**Ломова Ирина Павловна**

Кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник НИЛ цереброваскулярной патологии научно-исследовательского центра ФГБУ Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург  
irpalo@mail.ru

*Аннотация.* В обзоре рассмотрены данные научных работ последних лет, посвященных исследованию роли внеклеточных везикул (ВВ) — мембранных наночастиц, выделяемых клетками при активации, в возникновении и прогрессировании сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ). Проанализирована роль ВВ в нарушении гемостаза, в развитии атеросклероза, росте и нестабильности атеросклеротической бляшки, в патогенезе атеротромбоза. Обнаружено, что ВВ являются ранними маркерами и предикторами развития ССЗ, их использование откроет новые подходы в диагностике, прогнозе, мониторинговании эффективности лечения, а также в качестве новых лечебных средств. Использование нативных или биоинженерных ВВ может представлять собой новые инструменты доставки лекарств для борьбы с воспалением, атеросклерозом и атеротромбозом.

*Ключевые слова:* внеклеточные везикулы, атеротромбоз, сердечно-сосудистые заболевания, предикторы и маркеры заболевания, наночастицы в диагностике и лечении.

**С**ердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются ведущей причиной заболеваемости и смертности во всем мире, поэтому осуществляется активный поиск новых маркеров и предикторов их развития, инновационных подходов к профилактике и терапии этой патологии. Атеротромбоз лежит в основе большинства сердечно-сосудистых событий [1]. Атеросклероз длительно развивается от ранней инфильтрации стенки сосуда до образования атероматозной бляшки, которая при разрыве приводит к активации тромбоцитов, плазменного гемостаза и, в конечном итоге, образованию тромба [2]. В последние годы все больше данных получено о роли внеклеточных везикул (ВВ) в прогрессировании ССЗ, таких как инфаркт миокарда, ишемическая болезнь сердца, ишемический инсульт и ТИА, ишемическое-реперфузионное повреждение [3,4,5,6,7,8,9]. ВВ связаны со всеми фазами атеросклеротического процесса от инициации до непредвиденных

тромботических осложнений [10]. Изучение механизмов процессов, опосредованных ВВ, поможет выработать новые прогностические критерии ССЗ, быть маркером для отслеживания динамики заболевания, а также служить новым терапевтическим агентом в предотвращении атеротромбоза.

### Классификация, биогенез и виды активности внеклеточных везикул

Понятие «внеклеточные везикулы» (ВВ), согласно руководству International Society for Extracellular Vesicles (ISEV) «Минимальная информация для исследований внеклеточных везикул 2018», одобрено в качестве общего термина для частиц, естественным образом высвобождаемых из клетки, которые ограничены липидным бислоем и не содержат функционального ядра, т.е. не могут реплицироваться [10]. В зависимости

от их биогенеза и размеров, ВВ подразделяются на три типа: экзосомы, микровезикулы и апоптотические тельца. Размеры экзосом составляют от 30 до 100 нм в диаметре, они генерируются внутриклеточно в микровезикулярных тельцах и высвобождаются во внеклеточное пространство с помощью механизма, известного как эндосомальный сортировочный комплекс, необходимый для транспорта (ESCRT). Самые крупные ВВ, известные как апоптотические тела, с размером от 800 до 5000 нм, образуются из клеток, подвергающихся апоптозу [11]. Микровезикулы (МВ) представляют собой наноразмерные частицы (100–1000 нм в диаметре), отпочковывающиеся от плазматической мембраны [10]. Ключевым элементом в биогенезе микровезикул — это фосфолипид плазматической мембраны-фосфатидилсерин (ФС), перемещение которого под воздействием ряда факторов на внешнюю сторону мембраны клетки вызывает её выпячивание и отпочкование МВ. ВВ выделяются из любого типа клеток в ответ на активацию, окислительный стресс или апоптоз. Циркулирующие ВВ высвобождаются почти всеми клетками, включая клетки, связанные с сердечно-сосудистой системой (кровеносные сосуды, сердце, кровь) [12,13], и могут служить в качестве биомаркеров для диагностики и прогнозирования при ССЗ [14].

Воздействие ВВ на клетки-мишени в значительной степени зависит от родительской клетки, стимулов, внешней среды и, особенно, состава. ВВ содержат различные макромолекулярные компоненты, включая мРНК, функционально активные белки, микро-РНК, последовательности ДНК, липиды и полисахариды, то есть являются естественными носителями весьма разнообразного спектра биоактивных молекулярных эффекторов. Биологическая активность ВВ в клетках-реципиентах проявляется с помощью различных механизмов, в том числе при взаимодействиях рецептор-лиганд, способствующих активации сигнальных путей в клетках-мишенях. Также ВВ могут высвобождать содержимое в цитоплазму клеток путем слияния с плазматической мембраной или при поглощении ВВ клетками-мишенями посредством фагоцитоза, микропиноцитоза, эндоцитоза [15]. Одной из наиболее интересных ролей ВВ является участие в передаче селективного биомолекулярного «груза» клеткам-реципиентам аутокринным, паракринным или эндокринным способом для регуляции клеточной функции [16]. ВВ рассматриваются как потенциальные посредники биологической коммуникации между циркулирующими клетками, плазмой и клетками сосудистой системы, проявляют активность в качестве биологических эффекторов при различных острых и хронических ССЗ [17]. ВВ осуществляют функцию передачи информации между клетками в биологических процессах, таких как воспаление, свертывание крови, сосудистая регуляция, клеточная

пролиферация и апоптоз [18,5,19]. Поэтому они могут использоваться в качестве клинических маркеров функции свертывания, воспалительной реакции и диагностики повреждения тканей и органов [20]. Кроме того, ВВ могут действовать как клинический терапевтический агент для регуляции сосудистого гомеостаза, коррекции коагуляции, улучшения внутренней среды и защиты функции тканей [21]. Благодаря транспортировке различных биоактивных молекул к клеткам-мишеням, ВВ могут влиять на биологическое поведение и фенотипы генов посредством регулирования нескольких молекулярных путей. Все больше данных свидетельствует о том, что воздействие ВВ на клетки-мишени зависит в значительной степени от передаваемых ими микро-РНК и белков [22]. Перенос специфическую мРНК, ВВ стимулируют ангиогенез в эндотелиальных клетках [23]. ВВ также могут переносить функциональные рецепторы либо в клетки-мишени, которые изначально их не экспрессируют, либо они могут способствовать увеличению количества экспрессируемых рецепторов в клетках-реципиентах [24].

#### Виды циркулирующих ВВ и их роль в ССЗ

Основными циркулирующими ВВ являются тромбоцитарные, участвующие в регуляции гемостаза и обладающие прокоагулянтным и провоспалительным действием [25,26,27,17]. Тромбоциты выделяют ВВ, часть из которых экспрессирует тканевый фактор (ТФ) и фосфатидилсерин (ФС) [28, 29]. Эти тромбоцитарные везикулы обладают высокой протромботической активностью, поддерживают выработку тромбина и образование тромбов [30]. С помощью электронной микроскопии было выявлено, что только лишь около половины обнаруженных везикул содержали анионный ФС на своей поверхности и, следовательно, являлись положительными для аннексина V [31]. Подмножество аннексин V-положительных тромбоцитарных ВВ обладало прокоагулянтной активностью, тогда как аннексин V-отрицательные ВВ участвовали в других процессах, отличных от тромбообразования [32]. Обнаружено, что тромбоцитарные ВВ повышены при остром ишемическом инсульте и могут быть биомаркерами риска рецидива. Поверхностные антигены ВВ, такие как P-селектин и ФС, отражают активацию тромбоцитов и прокоагулянтность [5].

Эритроцитарные ВВ связаны с атеросклерозом, инфарктом миокарда, гиперкоагуляцией, воспалением и адгезией клеток [33,34,35]. Эти частицы, подобно тромбоцитарным ВВ, проявляют в основном фосфолипидзависимую прокоагулянтную активность, причем их прокоагулянтный эффект пропорционален дозе частиц [36]. В исследовании у пациентов с острым ко-

ронарным синдромом (ОКС) выявлено, что повышение эритроцитарных ВВ может служить маркером персистирующего тромбоза [37]. Микрочастицы, полученные из эритроцитов, поддерживают также опосредованную активированным белком С, регуляцию свертывания крови [38].

Эндотелиальные ВВ имеют физиологическое значение, поскольку они регулируют выживаемость эндотелиальных клеток [39], но они также участвуют в нескольких патологических процессах. У здоровых людей на эндотелиальные ВВ приходится примерно 5–15% в периферической крови [40]. У части циркулирующих эндотелиальных ВВ обнаружена на поверхности повышенная экспрессия ФС и ТФ, что частично объясняет их прокоагулянтную активность [41]. Белковые и РНК-профили ВВ, секретлируемых эндотелием отражают влияние клеточного стресса [42,43]. Эндотелиальные МВ связаны с прогрессированием атеросклероза [44], с артериальной гипертензией и ИБС [14,45]. Кроме того, повышенные уровни эндотелиальных везикул отражают остроту инсульта и объем пораженной ткани [44]. У пациентов с инсультом повышенные уровни специфических субпопуляций ВВ эндотелиального происхождения были связаны с худшим исходом [46,47].

ВВ лейкоцитарного происхождения обычно содержат воспалительные цитокины (например, интерлейкин 1-бета), молекулу клеточной адгезии-1 (ICAM-1), лиганд-1 гликопротеина Р-селектина (PSGL-1), ТФ, рецептор комплемента 3 (С3), металлопротеиназы [48,49] и нуклеиновые кислоты (тРНК, мРНК, микроРНК и длинные некодирующие РНК) [50]. Однако ВВ из разных субпопуляций лейкоцитов различаются по составу плазматической мембраны, а также по цитозольным белкам. ВВ, полученные из лейкоцитов, способствуют активации лейкоцитов и трансэндотелиальной миграции [49,51], модулируют специфические иммунные ответы, воспалительные реакции, атерогенез, разрыв бляшек и тромбоз [52,53]. Повышение ВВ, высвобождаемых лейкоцитами, отмечено у пациентов с гипертензией и гиперлипидемией [14], что способствует воспалительным реакциям и может играть важную роль в сосудистом гомеостазе, способствовать патологическому тромбозу [54], повреждению эндотелия при ишемии-реперфузии [7].

#### Роль внеклеточных везикул в регуляции гемостаза и тромбозе

Вклад ВВ в тромботические события обусловлен их прокоагулянтной поверхностью и экспрессией высокопрокоагулянтных белков, таких как ТФ, о чем упоминалось выше. Образование МВ приводит к экстернализации анионных фосфолипидов, главным образом ФС,

которые способствуют сборке и активации теназных и протромбиназных комплексов, тем самым потенцируя образование тромбина [55,56]. Первоначально считалось, что ТФ — основной инициатор свертывания — находится исключительно на клетках “гемостатической оболочки” [57]. Однако, многие исследователи ранее обнаружили циркулирующие ТФ (+) тромбоцитарные ВВ [58]. В других работах выявлено существование циркулирующих ВВ, экспрессирующих ТФ, которые включаются в тромбы и поддерживают образование фибрина [59,60]. Этот вывод казался спорным, поскольку считалось, что тромбоциты, как правило, не экспрессируют ТФ [61]. Было установлено, что в первую очередь моноциты высвобождают ТФ(+) ВВ в кровотоки [62,61]. Однако два исследования *in vitro* показали, что ТФ лейкоцитов может переноситься в тромбоциты [63,64]. Таким образом, циркулирующие лейкоцитарные ТФ(+) ВВ могут отражать активацию моноцитов, а циркулирующие ТФ(+) тромбоцитарные ВВ могут отражать активацию тромбоцитов и лейкоцитов или их взаимодействие. Выявлено, что совместная экспрессия ФС и ТФ(+) на ВВ еще больше увеличивает прокоагуляцию [5, 65].

ТФ является ключевым активатором каскада коагуляции: его внеклеточный домен связывается и активирует FVII, индуцируя гемостаз после повреждения сосудов. При этом, воздействие ТФ, выходящего из стенки сосуда в месте повреждения играет основную роль в фазе инициации, а переносимый кровью ТФ, в том числе связанный с ВВ, участвует в фазе распространения тромбообразования — росте тромба [66]. Циркулирующие ВВ также могут непосредственно активировать каскад коагуляции. Было обнаружено, что коагуляция в плазме с дефицитом фактора VII не может быть иницирована моноцитарными ВВ. Эти данные привели к выводу о том, что моноцитарные ВВ запускают коагуляцию преимущественно через ТФ [67].

Было обнаружено, что действие ВВ не ограничивается стимуляцией внешних путей или поставкой фосфолипидов для теназы и протромбиназы. Отмечалось, что ВВ из плазмы пациентов увеличивают выработку тромбина FXIa-зависимым образом [68,69,70]. Кроме того, эритроцитарные и тромбоцитарные МВ не активировали коагуляцию в плазме с дефицитом фактора XII. На основании этих данных пришли к выводу, что ВВ из тромбоцитов и эритроцитов иницируют генерацию тромбина независимо от ТФ, зависимым от фактора FXII образом, в то время как ВВ, полученные из моноцитов, запускают свертывание преимущественно через ТФ [71]. Дополнительно обнаружено, что воздействие на эндотелий ВВ, выделенных из моноцитов, приводило к сверхэкспрессии ТФ на поверхности эндотелиальных клеток и к снижению уровня ингибитора пути тканевого фактора (ТФПИ) и тромбомодулина (ТМ). Это

позволяет предположить, что моноцитарные ВВ повышают эндотелиальную тромбогенность [72, 55].

Циркулирующие ВВ могут способствовать тромбозу также через косвенные механизмы, не зависящие от поверхностной экспрессии ТФ и ФС и от активации факторов свертывания крови, благодаря межклеточным коммуникациям. Обнаружено, что обогащение крови человека ВВ, выделенными из крови здоровых людей, значительно увеличивает отложение тромбоцитов на поврежденных поверхностях в артериях. Кровь, обогащенная тромбоцитарными ВВ, индуцировала отложение фибрина на атеросклеротически измененных участках артерий человека и адгезию тромбоцитов к поверхностям, покрытым коллагеном [73]. Тромбоцитарные ВВ сокращали время агрегации тромбоцитов с коллагеном/адреналином, увеличивали агрегацию тромбоцитов в ответ на низкие дозы АДФ и уменьшали время свертывания. Эти наблюдения свидетельствуют о том, что тромбоцитарные ВВ даже в нормальных условиях крови усиливают активацию тромбоцитов и тромбообразование [73].

Помимо значимых прокоагулянтных свойств, ВВ могут влиять на гемостаз через антикоагулянтные или фибринолитические механизмы. Исследования *in vitro* показали, что ВВ, полученные из эритроцитов и тромбоцитов, связывают белок S и поддерживают антикоагулянтную активность активированного белка C [74,75]. В присутствии микрочастиц, полученных из эритроцитов, активированный белок C ингибировал теназу и протромбиназу, разрушая кофакторы FVIIIa и FVa соответственно. Белок S стимулировал расщепление Arg306 в FVa, тогда как эффективное ингибирование FVIIIa зависело от синергической кофакторной активности белка S и FV. Таким образом, поверхность микрочастиц, полученных из эритроцитов, подходит для антикоагулянтных реакций системы белка C, что может быть важно для сбалансирования инициации и распространения коагуляции [38].

Кроме того, ВВ стимулировали фибринолиз через аутокринный механизм. В частности, рецептор активатора плазминогена урокиназного типа (uPAR), экспрессируемый на поверхности ВВ, усиливал активацию плазминогена [76]. Те же авторы показали, что только ВВ, генерируемые из эндотелиальных клеток и лейкоцитов, но не из тромбоцитов или эритроцитов, поддерживают генерацию плазмина [77]. ВВ из эндотелия и лейкоцитов, содержащие соответственно активатор тканевого плазминогена или активатор плазминогена урокиназного типа, поддерживают часть фибринолитической активности в кровообращении, которая модулируется в патологических условиях. Дополнительно было выявлено, что ВВ из тромбоцитов содержат

полиубиквитин, который может снижать агрегацию тромбоцитов и ингибировать экспрессию CD36 посредством убиквитинирования, тем самым ингибируя образование атеротромбоза [78].

В 2019 г. René J. Verckmans и соавторами пересмотрены значения ВВ и свертываемости крови у здоровых людей [79]. Исследователи сообщили результаты в сравнении с данными 2001 года, когда изучали присутствие и коагулянтные свойства "микрочастиц" в крови здоровых людей. С тех пор были сделаны многочисленные улучшения в обнаружении, выделении и функциональной характеристике "микрочастиц", которые теперь называются "внеклеточными везикулами" (ВВ), и были выявлены недостатки. Улучшения в сборе крови, приготовлении плазмы и выявлении ВВ показывают, что результаты более ранних исследований следует интерпретировать с осторожностью. По сравнению с 2001 годом в крови здоровых людей обнаружены более высокие концентрации ВВ, которые способствуют фибринолизу, а не коагуляции. Повышенные уровни ВВ, имеющих прокоагулянтные свойства, были связаны с наличием факторов риска ССЗ, атеросклерозом, воспалительными, тромбофилическими состояниями, сердечно-сосудистыми заболеваниями и острыми с острыми сосудистыми событиями [17].

#### Роль внеклеточных везикул в прогрессировании атеросклероза, в атеротромбозе

Особая роль отводится ВВ в процессе атеротромботических изменений сосудов различных органов, в том числе сердца и мозга. Повышенные уровни общего количества ВВ или специфической субпопуляции ВВ, например, тромбоцитарных, эритроцитарных или лейкоцитарных, были связаны с наличием факторов риска ССЗ [80], включая диабет, гипертонию [81], гиперхолестеринемия [80] и курение [82]. Показано, что ВВ повышаются у пациентов с эндотелиальной дисфункцией, при субклиническом и клиническом атеросклерозе [82,83,84,85,17], у пациентов с тромбозом глубоких вен или тромбоэмболией легочной артерии [86, 87], при цереброваскулярных заболеваниях [88,89,90,46], при остром инфаркте миокарда, нестабильной стенокардии [3,4,6, 85, 91, 92]. Уровни ВВ плазмы крови коррелируют с воспалительными и тромбофилическими состояниями. Количество эндотелиальных и тромбоцитарных ВВ коррелировало с циркулирующими уровнями IL-6 и CRP у пациентов с ишемической болезнью сердца [82].

Циркулирующие ВВ тромбоцитарного и лейкоцитарного происхождения способствуют привлечению воспалительных клеток и индуцируют клеточную адгезию

живность посредством усиления регуляции цитокинов и цитоадгезий в эндотелиальных клетках и моноцитах [93]. При высоком напряжении сдвига тромбоцитарные ВВ обеспечивают доставку RANTES к воспаленному эндотелию, тем самым способствуя адгезии моноцитов и инфильтрации стенки сосуда и бляшек [94]. Развитие и прогрессирование атеросклеротических бляшек связаны с апоптотической гибелью клеток, что объясняет наличие значительного количества прокоагулянтных ВВ внутри бляшек [95]. Кроме того, усиленный апоптоз или активация лейкоцитов и эндотелия способствуют накоплению ВВ [95,96]. По сравнению с их циркулирующими аналогами, ВВ, обнаруженные в бляшке, присутствуют в гораздо более высоких концентрациях и обладают более высоким тромбогенным потенциалом. В бляшках большинство этих ВВ происходят из активированных лейкоцитов, что является признаком воспаления, и из эритроцитов, что указывает на возникновение внутрибляшечного кровоизлияния, которое является маркером уязвимости бляшек [96]. Помимо вклада ВВ в тромбогенность бляшек, они также могут способствовать нестабильности, опосредуя привлечение воспалительных клеток. Следовательно, циркулирующие ВВ могут приводить к воспалению сосудов, эндотелиальной дисфункции, адгезии лейкоцитов и рекрутингу. Это может способствовать росту и нестабильности бляшек, и воспалению сосудов, поскольку ВВ переносят биологические эффекторы [97].

В клинических исследованиях ВВ также рассматривались как маркеры нестабильности атеросклеротических бляшек. Сообщалось о повышенных уровнях тромбоцитарных, эндотелиальных, лейкоцитарных и эритроцитарных ВВ у пациентов с инфарктом миокарда по сравнению с субъектами с нестабильной и стабильной стенокардией [из 17, 97,98,99, 100, 101,102].

Аналогичные результаты были получены при оценке числа субпопуляций ВВ, несущих ТФ и аннексин V-позитивных прокоагулянтных ВВ [97,102]. Помимо своей роли в качестве биомаркеров, ВВ проявляют биологическую активность и индуцируют клеточные ответы *in vitro* и *in vivo* также во время ремоделирования сосудов, модулирования функции эндотелия, рекрутирования лейкоцитов, образования пенистых клеток, пролиферации и миграции гладкомышечных клеток, апоптоза и образования некротического ядра, разрыва бляшек и тромбоза. Эта тема широко рассматривалась в недавних обзорах [55,103,9,104]. В обзоре El-Gamal H. et al циркулирующие ВВ оценены как биомаркеры инсульта с акцентом на значении эндотелиальных и тромбоцитарных ВВ. Активация и дисфункция эндотелия, и измененные тромбоцитарные реакции являются двумя основными признаками, предрасполагающими к инульту. Эндотелиальные ВВ были признаны как биомар-

керами, так и эффекторами активации и повреждения эндотелиальных клеток, в то время как тромбоцитарные ВВ обладали сильным прокоагулянтным потенциалом и активировались при тромбоцитарных состояниях. В большинстве исследований сообщалось о высоком циркулирующем уровне ВВ у пациентов с инсультом; они ассоциировались с тяжестью инсульта, размером очаговых изменений и прогнозом. Отмечено, что ВВ могут быть важными биомаркерами и инструментами для выявления риска и диагностики цереброваскулярных заболеваний [105].

## Заключение

В многочисленных исследованиях доказано, что циркулирующие ВВ являются потенциальными биомаркерами ССЗ, поскольку их абсолютное количество или количество конкретных субпопуляций были связаны с частотой и прогнозом ССЗ. ВВ регулируют сосудистый гомеостаз и участвуют во множестве патологических процессов, включая инициацию и прогрессирование атеросклероза [106]. Новые данные подчеркивают важность ВВ в процессах межклеточной коммуникации с ключевыми воздействиями на выживание клеток, эндотелиальный гомеостаз, воспаление, неоангиогенез и тромбоз [104]. Учитывая неопровержимые доказательства того, что ВВ участвуют в модуляции процессов гемостаза, возможное применение их в качестве биомаркеров нарушений коагуляции становится очевидным [107]. Учитывая роль ВВ в воспалительном атеротромбозе, нацеливание на врожденные и иммунные реакции, обусловленные ВВ, открывает новые терапевтические возможности. Исследуются новые пути, с помощью которых ВВ могут действовать как защитные факторы, вызывающие противовоспалительный эффект и противостоять возникновению и прогрессированию атеросклероза [104]. За последнее десятилетие был достигнут значительный прогресс в понимании биологических характеристик ВВ, что помогает повысить их роль в качестве средств доставки лекарств при сердечно-сосудистых заболеваниях. Кроме того, ВВ могут быть использованы маркеры в диагностике, прогнозе, в оценке эффективности терапии и обнаружении клинической трансформации. Тяжесть сердечно-сосудистых заболеваний и их прогрессирование можно отразить путем обнаружения изменений в циркулирующем уровне и биологическом составе ВВ и принятии своевременного вмешательства [106,108]. Способность ВВ изменять транскриптом и сигнальную активность в клетках-реципиентах позволяет им вызывать специфические фенотипические изменения. Несмотря на то, что исследования находятся на ранних стадиях, открытия, сделанные в этой области до сих пор, являются многообещающими и предполагают, что механизмами поглощения ВВ можно манипулировать для разработки

будущих методов лечения. Более того, они могут быть генетически модифицированы для получения специально подобранных ВВ с повышенными антитромботическими, фибринолитическими или регенеративными свойствами [109]. Использование нативных или биоинженерных ВВ может представлять собой новые инструменты доставки лекарств для борьбы с воспалением, атеросклерозом и атеротромбозом. Ожидается, что в ближайшем будущем дополнительные доклинические и клинические исследования помогут опреде-

лить дополнительную ценность ВВ в точной медицине и перевести в более широкий терапевтический арсенал препараты на основе ВВ для лечения пациентов с атеросклеротическим сердечно-сосудистым заболеванием [104]. Таким образом, ВВ обладают большим потенциалом в ранней и точной диагностике, а также в терапии сердечно-сосудистых заболеваний и являются новым многообещающим подходом к улучшению результатов лечения пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Timmis A., Vardas P., Townsend N., et al. European Society of Cardiology: Cardiovascular disease statistics 2021. *Eur. Heart J.* 2022;43:716–799.
2. Libby P., Buring J.E., Badimon L., et al. Atherosclerosis. *Nat. Rev. Dis. Primers.* 2019;5:56.
3. Loyer X., Zlatanova I., Devue C., et al. Intra-Cardiac Release of Extracellular Vesicles Shapes Inflammation Following Myocardial Infarction. *Circ. Res.* 2018;123:100–106.
4. Sluijter J.P.G., Davidson S.M., Boulanger C.M., et al. Extracellular vesicles in diagnostics and therapy of the ischaemic heart: Position Paper from the Working Group on Cellular Biology of the Heart of the European Society of Cardiology. *Cardiovasc. Res.* 2018;114:19–34.
5. Annika Lundström, Fariborz Mobarrez, Elisabeth Rooth, et al. Prognostic Value of Circulating Microvesicle Subpopulations in Ischemic Stroke and TIA. *Prognostic Value of Transl Stroke Res.* 2020; 11(4):708–719.
6. Boulanger C.M., Loyer X., Rautou P.E., et al. Extracellular vesicles in coronary artery disease. *Nat. Rev. Cardiol.* 2017;14:259–272.
7. Ali El Habhab, Raed Altamim, Malak Abbas, et al. Significance of neutrophil microparticles in ischaemia-reperfusion: Pro-inflammatory effectors of endothelial senescence and vascular dysfunction. *J Cell Mol Med.* 2020 Jul;24(13):7266–7281.
8. Chenyuan Huang, Yub Raj Neupane, Xiong Chang Lim, et al. Extracellular vesicles in cardiovascular disease. *Adv Clin Chem.* 2021;103:47–95.
9. Saheera S, Jani VP, Witwer KW, et al. Extracellular vesicle interplay in cardiovascular pathophysiology. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2021 May 1;320(5): H1749-H1761.
10. Clotilde Théry, Kenneth W Witwer, Elena Aikawa, et al. Minimal information for studies of extracellular vesicles 2018 (MISEV2018): a position statement of the International Society for Extracellular Vesicles and update of the MISEV2014 guidelines. *J Extracell Vesicles.* 2018; 7(1): 1535750.
11. Raposo G, Stoorvogel W. Extracellular vesicles: Exosomes, microvesicles, and friends. *J Cell Biol* 200 (4) (2013) 373–383.
12. Annemiek Dickhout, Rory R Koenen. Extracellular Vesicles as Biomarkers in Cardiovascular Disease; Chances and Risks. *Front Cardiovasc Med* 2018 Aug 22;5:113.
13. Renata Caroline Costa de Freitas, Rosario Dominguez Crespo Hirata, Mario Hiroyuki Hirata, et al. Circulating Extracellular Vesicles As Biomarkers and Drug Delivery Vehicles in Cardiovascular Diseases. *Academic Editor Biomolecules.* 2021 Mar; 11(3): 388.
14. Zu L., Ren C., Pan B., et al. Endothelial microparticles after antihypertensive and lipid-lowering therapy inhibit the adhesion of monocytes to endothelial cells. *Int. J. Cardiol.* 2016;202:756–759.
15. Russell A.E., Sneider A., Witwer K.W., et al. Biological membranes in EV biogenesis, stability, uptake, and cargo transfer: an ISEV position paper arising from the ISEV membranes and EVs workshop. *J Extracell Vesicles.* 2019 Nov 8;8(1):1684862.
16. Bhagyashree S Joshi, Marit A de Beer, Ben NG Giepmans, et al. Endocytosis of Extracellular Vesicles and Release of Their Cargo from Endosomes. *ACS Nano.* 2020 Apr 28;14(4):4444–4455.
17. Jose Luis Martin-Ventura, Carmen Roncal, Josune Orbe, et al. Role of Extracellular Vesicles as Potential Diagnostic and/or Therapeutic Biomarkers in Chronic Cardiovascular Diseases. *Front Cell Dev Biol.* 2022 Jan 26;10:813885.
18. de Abreu R.C., Fernandes H., da Costa Martins P.A., et al. Native and Bioengineered Extracellular Vesicles for Cardiovascular Therapeutics. *Nat. Rev. Cardiol.* 2020; 17 (11), 685–697.
19. Sanwlani R., Gangoda L. Role of Extracellular Vesicles in Cell Death and Inflammation. *Cells* 10 (10). 2021; 10.3390.
20. Berumen Sánchez G., Bunn K.E., Pua H.H., et al. (2021). Extracellular Vesicles: Mediators of Intercellular Communication in Tissue Injury and Disease. *Cell Commun. Signal* 19 (1), 104.
21. Colombo M., Raposo G., Théry C. (2014). Biogenesis, Secretion, and Intercellular Interactions of Exosomes and Other Extracellular Vesicles. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* 30 (1), 255–289.
22. Benjamin E.J., Blaha M.J., Chiuve S.E., et al. (2017). Heart Disease and Stroke Statistics–2017 Update: A Report from the American Heart Association. *Circulation* 135 (10), e146–e603.
23. Deregibus M.C., Cantaluppi V., Calogero R., et al. Endothelial progenitor cell derived microvesicles activate an angiogenic program in endothelial cells by a horizontal transfer of mRNA. *Blood.* 2007;110:2440–2448.
24. Baj-Krzyworzeka M., Majka M., Pratico D., et al. Platelet-derived microparticles stimulate proliferation, survival, adhesion, and chemotaxis of hematopoietic cells. *Exp. Hematol.* 2002;30:450–459.

25. Berckmans R.J., Lacroix R., Hau C.M., et al. Extracellular vesicles and coagulation in blood from healthy humans revisited. *J. Extracell. Vesicles.* 2019;8.
26. Gasecka A., Nieuwland R., Siljander P.R.M. *Platelets.* Elsevier; Amsterdam, The Netherlands: 2019. Platelet-derived extracellular vesicles; pp. 401–416.
27. Lopez E., Srivastava A.K., Burchfield J., et al. Platelet-derived- Extracellular Vesicles Promote Hemostasis and Prevent the Development of Hemorrhagic Shock. *Sci. Rep.* . 2019;9:1–10.
29. Brambilla M., Facchinetti L., Canzano P., et al. Human megakaryocytes confer tissue factor to a subset of shed platelets to stimulate thrombin generation. *Thromb. Haemost.* 2015;114:579–592.
30. Chiva-Blanch G., Laake K., Myhre P., et al. Platelet-, monocyte-derived and tissue factor-carrying circulating microparticles are related to acute myocardial infarction severity. *PLoS ONE.* 2017;12: e0172558.
31. Nomura S., Shimizu M. Clinical significance of procoagulant microparticles. *J. Intensive Care.* 2015;3:2.
32. Arraud N., Linares R., Tan S., et al. Extracellular vesicles from blood plasma: Determination of their morphology, size, phenotype and concentration. *J. Thromb. Haemost.* 2014;12:614–627.
33. Goubran H.A., Burnouf T., Stakiw J., Seghatchian J. Platelet microparticle: A sensitive physiological “fine tuning” balancing factor in health and disease. *Transfus. Apher. Sci.* 2015;52:12–18.
34. Oudatzis G., Paterakis G., Synetos A., et al. Red blood cell and platelet microparticles in myocardial infarction patients treated with primary angioplasty. *Int. J. Cardiol.* 2014;176:145–150.
35. Li K.Y., Zheng L., Wang Q., et al. Characteristics of erythrocyte-derived microvesicles and its relation with atherosclerosis. *Atherosclerosis.* 2016;255:140–144.
36. Mayr M., Grainger D., Mayr U., et al. Proteomics, Metabolomics, and Immunomics on Microparticles Derived From Human Atherosclerotic Plaques. *Circ. Cardiovasc. Genet.* 2009;2:379–388.
37. Devalet B., Wannez A., Bailly N., et al. Application of a clot-based assay to measure the procoagulant activity of stored allogeneic red blood cell concentrates. *Blood Transfus.* 2018;16(2):163–172.
38. Zacharia E, Zacharias K, Papamikroulis GA, et al. Cell-derived microparticles and acute coronary syndromes: is there a predictive role for microparticles? *Curr Med Chem.* 2020;27(27):4440–4468.
39. Ruzica Livaja Koshiar, Sofia Somajo, Eva Norström, et al. Erythrocyte-Derived Microparticles Supporting Activated Protein C–Mediated Regulation of Blood Coagulation. *PLoS One.* 2014; 9(8): e104200. Published online 2014 Aug 19.
40. Hristov M., Erl W., Linder S., Weber P.C. Apoptotic bodies from endothelial cells enhance the number and initiate the differentiation of human endothelial progenitor cells in vitro. *Blood.* 2004;104:2761–2766.
41. Hromada C., Muhleder S., Grillari J., Redl H., Holnthoner W. Endothelial Extracellular Vesicles–Promises and Challenges. *Front. Physiol.* 2017;8:275.
42. Lee S.T., Chu K., Jung K.H., et al. Circulating CD62E+ microparticles and cardiovascular outcomes. *PLoS ONE.* 2012;7: e35713.
43. De Jong O.G., Verhaar M.C., Chen Y., et al. Cellular stress conditions are reflected in the protein and RNA content of endothelial cell-derived exosomes. *J. Extracell. Vesicles.* 2012;1.
44. Lin X., He Y., Hou X., et al. Endothelial Cells Can Regulate Smooth Muscle Cells in Contractile Phenotype through the miR-206/ARF6&NCX1/Exosome Axis. *PLoS ONE.* 2016;11: e0152959.
45. Paone S., Baxter A.A., Hulett M.D., et al. Endothelial cell apoptosis and the role of endothelial cell-derived extracellular vesicles in the progression of atherosclerosis. *Cell. Mol. Life Sci.* 2019;76:1093–1106.
46. Sansone R., Baaken M., Horn P., et al. Endothelial microparticles and vascular parameters in subjects with and without arterial hypertension and coronary artery disease. *Data Br.* 2018;19:495–500.
47. Jung KH, Chu K, Lee ST, et al. Circulating endothelial microparticles as a marker of cerebrovascular disease. *Ann Neurol.* 2009 Aug;66(2):191–9.
48. Simak J, Gelderman MP, Yu H, et al. Circulating endothelial microparticles in acute ischemic stroke: a link to severity, lesion volume and outcome. *J Thromb Haemost.* (2006)4: 1296–302.
49. Liu M.L., Williams K.J., Werth V.P. Microvesicles in Autoimmune Diseases. *Adv. Clin. Chem.* 2016;77:125–175.
50. Wang J.G., Williams J.C., Davis B.K., et al. Monocytic microparticles activate endothelial cells in an IL-1beta-dependent manner. *Blood.* 2011;118:2366–2374.
51. Liu T., Zhang Q., Zhang J.K., et al. EVmiRNA: A database of miRNA profiling in extracellular vesicles. *Nucleic Acids Res.* . 2019;47:89–93.
52. Mayr M., Grainger D., Mayr U., et al. Proteomics, metabolomics, and immunomics on microparticles derived from human atherosclerotic plaques. *Circ. Cardiovasc. Genet.* 2009;2:379–388.
53. Folkesson M., Li C., Frebelius S., et al. Proteolytically active ADAM10 and ADAM17 carried on membrane microvesicles in human abdominal aortic aneurysms. *Thromb. Haemost.* 2015;114:1165–1174.
54. Chen Y., Li G., Liu Y., et al. Translocation of Endogenous Danger Signal HMGB1 From Nucleus to Membrane Microvesicles in Macrophages. *J. Cell. Physiol.* 2016;231:2319–2326.
55. Angelillo-Scherrer A. Leukocyte-derived microparticles in vascular homeostasis. *Circ. Res.* 2012;110:356–369.
56. Marta Zarà, Gianni Francesco Guidetti, Marina Camera, et al. Biology and Role of Extracellular Vesicles (EVs) in the Pathogenesis of Thrombosis. *Int J Mol Sci.* 2019 Jun; 20(11): 2840.
57. Lu Zhao, Xiaoming Wu, Yu Si, et al. Increased blood cell phosphatidylserine exposure and circulating microparticles contribute to procoagulant activity after carotid artery stenting. *J Neurosurg.* 2017 Nov;127(5):1041–1054.

58. Drake TA, Morrissey JH, Edgington TS. Selective cellular expression of tissue factor in human tissues. Implications for disorders of hemostasis and thrombosis. *Am J Pathol.* 1989;134(5):1087–1097.
59. Skeppholm M, Mobarrez F, Malmqvist K, et al. Platelet-derived microparticles during and after acute coronary syndrome. *Thromb Haemost.* 2012;107(6):1122–1129.
60. Giesen PL, Rauch U, Bohrmann B, et al. Blood-borne tissue factor: another view of thrombosis. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1999;96(5):2311–2315.
61. Falati S, Liu Q, Gross P, et al. Accumulation of tissue factor into developing thrombi in vivo is dependent upon microparticle P-selectin glycoprotein ligand 1 and platelet P-selectin. *J Exp Med.* 2003;197(11):1585–1598.
62. Osterud B, Bjorklid E. Tissue factor in blood cells and endothelial cells. *Front Biosci (Elite Ed)* 2012;4:289–299.
63. Owens AP, 3rd, Mackman N. Microparticles in hemostasis and thrombosis. *Circ Res.* 2011;108(10):1284–1297.
64. Rauch U, Bonderman D, Bohrmann B, et al. Transfer of tissue factor from leukocytes to platelets is mediated by CD15 and tissue factor. *Blood.* 2000;96(1):170–175.
65. Del Conde I, Shrimpton CN, Thiagarajan P, et al. Tissue-factor-bearing microvesicles arise from lipid rafts and fuse with activated platelets to initiate coagulation. *Blood.* 2005;106(5):1604–1611.
66. Morel O, Morel N, Freyssinet JM, et al. Platelet microparticles and vascular cells interactions: a checkpoint between the haemostatic and thrombotic responses. *Platelets.* 2008;19(1):9–23.
67. Camera M., Toschi V., Brambilla M., et al. The Role of Tissue Factor in Atherothrombosis and Coronary Artery Disease: Insights into Platelet Tissue Factor. *Semin. Thromb. Hemost.* 2015;41:737–746.
68. Van Der Meijden P.E., Van Schilfgaarde M., Van Oerle R., et al. Platelet- and erythrocyte-derived microparticles trigger thrombin generation via factor XIIa. *J. Thromb. Haemost.* 2012;10:1355–1362.
69. van Beers EJ, Schaap MC, Berckmans RJ, et al. (2009) Circulating erythrocyte-derived microparticles are associated with coagulation activation in sickle cell disease. *Haematologica* 94: 1513–1519.
70. Joop K, Berckmans RJ, Nieuwland R, et al. (2001) Microparticles from patients with multiple organ dysfunction syndrome and sepsis support coagulation through multiple mechanisms. *Thromb Haemost* 85: 810–820.
71. Berckmans RJ, Nieuwland R, Boing AN, et al. (2001) Cell-derived microparticles circulate in healthy humans and support low grade thrombin generation. *Thromb Haemost* 85: 639–646.
72. P E J Van Der Meijden 1, M Van Schilfgaarde, R Van Oerle, et al. Platelet- and erythrocyte-derived microparticles trigger thrombin generation via factor XIIa. *J Thromb Haemost.* 2012 Jul;10(7):1355–62.
73. Aharon A., Tamari T., Brenner B. Monocyte-derived microparticles and exosomes induce procoagulant and apoptotic effects on endothelial cells. *Thromb. Haemost.* 2008;100:878–885.
74. 354. Suades R., Padro T., Vilahur G., et al. Circulating and platelet-derived microparticles in human blood enhance thrombosis on atherosclerotic plaques. *Thromb. Haemost.* 2012;108:1208–1219.
75. Koshiar R.L., Somajo S., Norstrom E., et al. Erythrocyte-derived microparticles supporting activated protein C-mediated regulation of blood coagulation. *PLoS ONE.* 2014;9: e104200.
76. Somajo S., Koshiar R.L., Norstrom E., et al. Protein S and factor V in regulation of coagulation on platelet microparticles by activated protein C. *Thromb. Res.* 2014;134:144–152.
77. Lacroix R., Sabatier F., Mialhe A., et al. Activation of plasminogen into plasmin at the surface of endothelial microparticles: A mechanism that modulates angiogenic properties of endothelial progenitor cells in vitro. *Blood.* 2007;110:2432–2439.
78. Lacroix R., Plawinski L., Robert S., et al. Leukocyte- and endothelial-derived microparticles: A circulating source for fibrinolysis. *Haematologica.* 2012;97:1864–1872.
79. Srikanthan S., Li W., Silverstein R.L., McIntyre T. M. (2014). Exosome Poly-Ubiquitin Inhibits Platelet Activation, Downregulates CD36 and Inhibits Pro-atherothrombotic Cellular Functions. *J. Thromb. Haemost.* 12 (11), 1906–1917.
80. René J. Berckmans, Romaric Lacroix, Chi M. Hau, et al. Extracellular vesicles and coagulation in blood from healthy humans revisited. *J Extracell Vesicles.* 2019; 8(1): 1688936.
81. Amabile N., Cheng S., Renard J.M., et al. (2014). Association of Circulating Endothelial Microparticles with Cardiometabolic Risk Factors in the Framingham Heart Study. *Eur. Heart J.* 35, 2972–2979.
82. Preston R.A., Jy W., Jimenez J.J., et al. (2003). Effects of Severe Hypertension on Endothelial and Platelet Microparticles. *Hypertension* 41, 211–217.
83. Cui Y., Zheng L., Jiang M., et al. (2013). Circulating Microparticles in Patients with Coronary Heart Disease and its Correlation with Interleukin-6 and C-Reactive Protein. *Mol. Biol. Rep.* 40, 6437–6442.
84. Heiss C, Amabile N, Lee AC, et al. Brief secondhand smoke exposure depresses endothelial progenitor cells activity and endothelial function: sustained vascular injury and blunted nitric oxide production. *J Am Coll Cardiol.* (2008) 51:1760–71.
85. Saenz Pipaon G., San Martín P., Planell N., et al. (2020). Functional and Transcriptomic Analysis of Extracellular Vesicles Identifies Calprotectin as a New Prognostic Marker in Peripheral Arterial Disease (PAD). *J. Extracellular Vesicles* 9, 1729646.
86. Suades R., Padró T., Crespo J., Ramaiola I., Martín-Yuste V., Sabaté M., et al. (2016). Circulating Microparticle Signature in Coronary and Peripheral Blood of ST Elevation Myocardial Infarction Patients in Relation to Pain-To-PCI Elapsed Time. *Int. J. Cardiol.* 202, 378–387.
87. Rectenwald JE, Myers DD Jr, Hawley AE, et al. D-dimer, P-selectin, and microparticles: novel markers to predict deep venous thrombosis. A pilot study. *Thromb Haemost.* (2005) 94:1312–7.

88. Chirinos JA, Heresi GA, Velasquez H, et al. Elevation of endothelial microparticles, platelets, and leukocyte activation in patients with venous thromboembolism. *J Am Coll Cardiol.* (2005) 45:1467–71.
89. Lee YJ, Jy W, Horstman LL, et al. Elevated platelet microparticles in transient ischemic attacks, lacunar infarcts, and multiinfarct dementias. *Thromb Res.* (1993) 72:295–304.
90. Simak J, Gelderman MP, Yu H, et al. Circulating endothelial microparticles in acute ischemic stroke: a link to severity, lesion volume and outcome. *J Thromb Haemost.* (2006) 4:1296–302.
92. Lackner P, Dietmann A, Beer R, et al. Cellular microparticles as a marker for cerebral vasospasm in spontaneous subarachnoid hemorrhage. *Stroke* (2010) 41:2353–7.
93. Schiro A, Wilkinson F.L., Weston R., et al. (2015). Elevated Levels of Endothelial-Derived Microparticles and Serum CXCL9 and SCGF- $\beta$  Are Associated with Unstable Asymptomatic Carotid Plaques. *Sci. Rep.* 5. 10.1038/srep16658.
94. Vagida M.S., Arakelyan A., Lebedeva A.M., et al. (2016). Analysis of Extracellular Vesicles Using Magnetic Nanoparticles in Blood of Patients with Acute Coronary Syndrome. *Biochem. Mosc.* 81, 382–391.
95. Barry OP, FitzGerald GA. Mechanisms of cellular activation by platelet microparticles. *Thromb Haemost.* 1999;82:794–800.
96. Mause SF, von Hundelshausen P, Zerneck A, et al. Platelet microparticles: a transcellular delivery system for RANTES promoting monocyte recruitment on endothelium. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2005;25:1512–1518.
97. Angelillo-Scherrer A. Leukocyte-derived microparticles in vascular homeostasis. *Circ Res.* 2012;110:356–369.
98. Leroyer AS, Isobe H, Lesèche G, et al. Cellular origins and thrombogenic activity of microparticles isolated from human atherosclerotic plaques. *J Am Coll Cardiol.* 2007;49:772–777.
99. Cui Y., Zheng L., Jiang M., et al. (2013). Circulating Microparticles in Patients with Coronary Heart Disease and its Correlation with Interleukin-6 and C-Reactive Protein. *Mol. Biol. Rep.* 40, 6437–6442.
100. Liu Y., He Z., Zhang Y., et al. (2016). Dissimilarity of Increased Phosphatidylserine-Positive Microparticles and Associated Coagulation Activation in Acute Coronary Syndromes. *Coron. Artery Dis.* 27, 365–375.
101. Schiro A., Wilkinson F.L., Weston R., et al. (2015). Elevated Levels of Endothelial-Derived Microparticles and Serum CXCL9 and SCGF- $\beta$  Are Associated with Unstable Asymptomatic Carotid Plaques. *Sci. Rep.* 5.10.1038/srep16658.
102. Suades R., Padró T., Crespo J., et al. (2016). Circulating Microparticle Signature in Coronary and Peripheral Blood of ST Elevation Myocardial Infarction Patients in Relation to Pain-To-PCI Elapsed Time. *Int. J. Cardiol.* 202, 378–387.
103. Vagida M.S., Arakelyan A., Lebedeva A.M., et al. (2016). Analysis of Extracellular Vesicles Using Magnetic Nanoparticles in Blood of Patients with Acute Coronary Syndrome. *Biochem. Mosc.* 81, 382–391.
104. Wekesa A.L., Cross K.S., O'Donovan O., et al. (2014). Predicting Carotid Artery Disease and Plaque Instability from Cell-Derived Microparticles. *Eur. J. Vasc. Endovascular Surg.* 48, 489–495.
105. Marta Zarà, Gianni Francesco Guidetti, Marina Camera, et al. Biology and Role of Extracellular Vesicles (EVs) in the Pathogenesis of Thrombosis. *Int J Mol Sci.* 2019 Jun; 20(11): 2840.
106. Rosa Suades, Maria Francesca Greco, Teresa Padró, et al. Extracellular Vesicles as Drivers of Inflammation in Atherothrombosis. *mCells.* 2022 Jun; 11(11): 1845.
107. Heba El-Gamal, Aijaz S Parray, Fayaz A Mir, et al. Platelet- and erythrocyte-derived microparticles trigger thrombin generation via factor XIIIa. *J Thromb Haemost.* 2012 Jul;10(7):1355–62.
108. Silvia Oggero, Thomas Godec, Rick van Gorp, et al. Role of plasma extracellular vesicles in prediction of cardiovascular risk and alterations in response to statin therapy in hypertensive patients. *J Hypertens.* 2022 Aug 1;40(8):1522–1529.
109. Houssam Al-Koussa, Ibrahim Al Zaim, Marwan E El-Sabban. Pathophysiology of Coagulation and Emerging Roles for Extracellular Vesicles in Coagulation Cascades and Disorders. *J Clin Med.* 2022 Aug 22;11(16):4932.
110. Xiaojing Zhang, Yuping Wu, Qifa Cheng, et al. Extracellular Vesicles in Cardiovascular Diseases: Diagnosis and Therapy. *Front Cell Dev Biol.* 2022; 10:875376.
111. Konstantinos Zifkos, Christophe Dubois, Katrin Schäfer et al. Extracellular Vesicles and Thrombosis: Update on the Clinical and Experimental Evidence. *Int J Mol Sci.* 2021 Aug 27;22(17):9317.

© Ломова Ирина Павловна (irpalo@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРЕЭКЛАМПСИИ

PREDICTION POSSIBILITIES  
FOR PRE-ECLAMPSIA

**G. Penzhoyan**  
**F. Kazanchi**  
**M. Andreeva**

*Summary.* To date, more and more studies in the field of obstetrics and gynecology are considering the possibility of predicting preeclampsia, which is justified by the high incidence of this disease and the lack of a tendency to reduce it. According to official statistics, preeclampsia is increasingly the cause of perinatal mortality (more than 30% of cases) [1, p. eleven]. Despite the unfavorable morbidity picture, at the moment there are no clinically significant methods for predicting and preventing preeclampsia, while the only successful treatment is the timely termination of pregnancy. All of the above determines the relevance of studying the specifics of early diagnosis of preeclampsia, substantiating the algorithm for monitoring patients and their treatment, depending on the degree of progression of the disease.

*Keywords:* prediction of preeclampsia, risk factors for PE, clinical parameters of PE.

**Пенжоян Григорий Артемович**

Доктор медицинских наук, профессор  
Кубанский государственный медицинский  
университет

**Казанчи Фатима Байзетовна**

Кубанский государственный медицинский  
университет  
fatima.kazanchi.93@mail.ru

**Андреева Маргарита Дарчиевна**

Доктор медицинских наук, профессор  
Кубанский государственный медицинский  
университет

*Аннотация.* На сегодняшний день все больше исследований в области акушерства и гинекологии рассматривают тематику возможности прогнозирования преэклампсии, что обосновано высокой частотой данного заболевания и отсутствием тенденции к ее снижению. Согласно официальным статистическим данным, преэклампсия все чаще является причиной перинатальной смертности (в более чем 30% случаев) [1, с. 11]. Несмотря на неблагоприятную картину заболеваемости, на текущий момент отсутствуют клинически значимые методы прогнозирования и профилактики преэклампсии, при этом единственным успешным методом лечения является своевременное завершение беременности. Все вышеперечисленное обуславливает актуальность исследования специфики ранней диагностики преэклампсии, обоснования алгоритма наблюдения пациентов и их лечения в зависимости от степени прогрессирования болезни.

*Ключевые слова:* прогнозирование преэклампсии, факторы риска ПЭ, клинические параметры ПЭ.

**П**реэклампсия является одной из проблем здравоохранения мирового масштаба, ведь поражающая порядка 2–8% от общего количества беременных, заболевание инициирует перинатальные заболевания и смертность [8]. Как правило, преэклампсия сопровождается многочисленными осложнениями беременных женщин и внутриутробного плода, при этом последствия тяжелой преэклампсии ухудшают здоровье женщины в послеродовой период, так как увеличивается риск возникновения сахарного диабета, инсультов и ожирения. У детей, рожденных от матери, перенесшей преэклампсию, наблюдаются физиологические нарушения и сбои в психическом развитии, повышается риск возникновения соматических заболеваний. Важно акцентировать внимание на том, что в первые месяцы беременности (до 18ой недели) симптомы преэклампсии как правило не проявляются, таким образом преэклампсию рассматривают как заболевание, протекающее двустадийно (на первой стадии наблюдаются нарушения плацента-

ции, на второй же стадии происходит системная дисфункция эндотелия).

Данные современных обзоров литературы свидетельствуют о необходимости рассмотрения ПЭ не только как гетерогенного осложнения беременности, но и в качестве мультисистемного расстройства, протекающего вне связи с гестационным процессом [9, 10]. Такой подход представляется целесообразным и с точки зрения изучения ранних признаков генерализованного повреждения эндотелия и полиорганной недостаточности.

Известен тот факт, что на ранней стадии преэклампсия ассоциируется с задержкой роста плода, нарушением фетоплацентарного кровотока по данным ультразвуковой доплерометрии, формированием плаценты малых размеров, неонатальной заболеваемостью и смертностью, высокой частотой индуцированных преждевременных родов [11]. Механизм развития

ранней ПЭ связан с нарушением инвазии трофобласта, с дезадаптацией иммунной системы, повышением уровня таких маркеров эндотелиальной дисфункции, как fms-подобная тирозинкиназа 1-го типа (sFlt-1) и плацентарный фактор роста (PlGF), а также усилением окислительного стресса [12, 13].

Поздняя ПЭ, как правило, составляет 75–80% всех случаев, ассоциирована с такими материнскими патологиями, как метаболический синдром, ожирение, дислипидемия, нарушение толерантности к глюкозе, хроническая артериальная гипертензия. Для поздней ПЭ также характерны нормальный кровоток в маточных артериях при доплерометрическом исследовании, достаточный объем и зрелость плаценты, нормальная масса тела новорожденного [9, 11].

Учитывая все вышеизложенное, а именно тяжесть течения заболевания и высокие риски развития осложнений для беременных женщин и плода, основная задача акушерства и гинекологии на сегодняшний день состоит в обеспечении высокого качества раннего прогнозирования преэклампсии. Проблема тем более актуальна в случаях длительного бессимптомного течения ПЭ, завершающегося внезапным экламптическим финалом без предварительного проявления гипертензии и протеинурии [14]. Не менее актуальным является разработка точных моделей вероятности возникновения жизнеугрожающих осложнений, поскольку невыявленные факторы риска развития таких осложнений признаются очевидными причинами увеличения показателей материнской смертности [15].

Прогнозирование развития преэклампсии осложняется тем, что клинические проявления данного заболевания чаще всего оказываются неспецифичны и скрываются под рядом других заболеваний. Многочисленными исследованиями показано, что поиск универсальных специфических биомаркеров (предикторов ПЭ) является сложноразрешимой задачей. Учитывая гетерогенность этой патологии, некоторые исследователи считают, что поиски единого предиктора ПЭ не оправданы; особого внимания заслуживает применение системного подхода с целью разработки многомерных и многофункциональных моделей, которые объединяли бы потенциальные предикторы с уже изученными [16]. В этом отношении давно привлекают внимание вопросы становления ранней беременности, роль трофобласта и плаценты, различные механизмы, сопровождающиеся продукцией факторов и медиаторов, повреждающих материнский эндотелий [13, 17, 18].

Согласно современным представлениям, ведущую роль в этиологии и патогенезе преэклампсии играют

факторы нарушения процессов плацентации, имплантации и ангиогенеза [3]:

- ◆ нарушение отношений между гуморальным, трансплантационным иммунитетом и иммунологической толерантностью;
- ◆ эндотелиальная дисфункция, обусловленная дисбалансом между ангиогенными и антиангиогенными факторами, выделяемыми плацентой;
- ◆ мутация генов, ответственных за синтез соединительных, регулирующих тонус сосудов и ангиогенез в I триместре (факторов роста (ФР), интегринов, ангиотензина II);
- ◆ нарушение регуляции разветвляющегося и неразветвляющегося ангиогенеза;
- ◆ недостаточность инвазии цитотрофобласта.

Недостаточность инвазии цитотрофобласта, являющаяся предиктором ПЭ, развивается вследствие усиления индуцированного ФР и цитокинами апоптоза трофобласта, активизации децидуальных макрофагов, нарушения дифференцировки и накопления регуляторных Т-клеток. Нарушение продукции ФР может явиться маркером этих патологических состояний [12–14].

При прогрессирующей преэклампсии (на сегодняшний день наблюдается у 4–5% беременных от общего количества), возникает острая необходимость разрешения родов до 34 недели беременности. Несмотря на более редкую частоту выявления, 80% экономических потерь и затрат на диагностику, лечение и реабилитацию пациентов связаны именно с данной формой ПЭ. Поэтому скрининг ранней ПЭ является актуальной проблемой и имеет важное практическое значение для современного акушерства, как медицинское, так и социально-экономическое [5, 7, 8].

Миланина Е.Н. в своих трудах акцентирует внимание на том, что посредством некоторых клинических параметров, изменений гемодинамики и биохимических маркеров представляется возможным вывить и спрогнозировать течение преэклампсии на первом триместре беременности. Не менее важным при прогнозировании развития ПЭ является комбинация факторов риска развития преэклампсии к которым можно отнести массу тела, наличие у пациента вредных привычек, наличие сахарного диабета, артериальной гипертензии, наследственного анамнеза [15].

Галина Т.В. отмечает, что гены отцов, матери которых перенесли гестоз во время беременности, могут служить предрасполагающим фактором развития преэклампсии [2], при этом скрининг, основанный на оценке факторов риска со стороны матери, отличается низкой чувствительностью и высокими показателями частоты ложноположительных результатов (ЛПР).

В последние 5 лет пристальное внимание при исследовании специфики развития преэклампсии уделяется не только генетическим аспектам, но также и иммунологическим изменениям, происходящим во время беременности. Радзинский В.Е. указывает на корреляционную связь развитие преэклампсии с сывороточным содержанием естественных аутоантител класса IgG к основному белку миелина (ОБМ), белку мозга S100, а также с фракциями анионных белков хроматина (АСВР14/18) и мембранных белков (MP65) нервной ткани [3]. Для их определения был разработан метод ELI-P (ELISA — detected Probability of Pathology in Pregnancy), основанный на стандартном иммуноферментном анализе.

В целом, поддержание физиологических концентраций естественных регуляторных аутоантител является одним из условий нормального эмбриогенеза, поэтому особый интерес представляют диагностические методы изучения его иммунологических особенностей, позволяющие прогнозировать вероятность развития преэклампсии.

Одним из методов прогнозирования преэклампсии в современной акушерской практике является доплерометрия маточных артерии (МА), которая позволяет исследовать кровоток маточных артерий не только на ранних сроках беременности, но также на втором и третьей триместре беременности (численные значения пульсационного индекса пациенток с преэклампсией достоверно выше, нежели у пациенток с физиологически протекающей беременностью) [19].

Среди гемодинамических факторов особое внимание уделяют простым методам диагностики преэклампсии, к примеру динамике показателей артериального давления, при этом применяется метод СМАД (суточный мониторинг артериального давления), который позволяет определить начальные отклонения от нормы артериального давления и выделить женщин группы риска развития преэклампсии (так, артериальное давление пациенток с преэклампсией будет в разы выше, нежели у пациенток с физиологически протекающей беременностью) [6].

Учитывая тот факт, что одним из факторов развития преэклампсии является эндотелиальная дисфункция, значительное количество исследований посвящено роли биохимических маркеров в развитии преэклампсии (изменение синтеза биохимических маркеров свидетельствует как правило о возможном развитии преэклампсии) [14, с. 20]. Изучение роли ангиогенных ФР в развитии ПЭ, ЗВРП и других осложнений гестации началось с 70–80-х годов прошлого столетия, на сегодняшний день накопилось достаточное количество доказательств взаимосвязи между нарушением

продукции и функционирования названных биомаркеров и развитием данных патологических состояний. Факторы роста — полипептиды с молекулярной массой 5–50 кДа, объединенные в группу трофических регуляторных субстанций, являются биологически активными соединениями и принимают участие в процессах воспаления, онко- и эмбриогенеза. Факторы роста регулируют деление и дифференцировку клеток с начальных этапов гестации, инвазию, миграцию и метаболическую активность трофобласта, рост, развитие, проницаемость сосудов плаценты. Подобно гормонам, эти факторы обладают широким спектром биологического действия на многие клетки — стимулируют или ингибируют митогенез, хемотаксис, дифференцировку. В отличие от гормонов факторы роста, как правило, продуцируются неспециализированными клетками, находящимися во всех тканях, и оказывают эндокринное, паракринное и аутокринное действие.

Фактор роста плаценты (PIGF) — гликопротеин с молекулярной массой 30–46 а, относящийся к семейству сосудисто-эндотелиальных факторов роста VEGF увеличивает продолжительность жизни, рост и миграцию эндотелиальных клеток, активно участвует в процессах неоангиогенеза. Во время беременности PIGF обеспечивает пролиферацию вневорсинчатого трофобласта, усиливает VEGF-индуцированный ангиогенез и проницаемость сосудов. При физиологически протекающей беременности концентрация PIGF на протяжении I и II триместров повышается, а затем снижается. У женщин, у которых беременность осложняется развитием преэклампсии во второй половине гестации, уровень PIGF в сыворотке крови значительно снижен при сроке 10–13 недели течения беременности, что дает возможность прогнозирования, ранней диагностики и профилактики этого осложнения беременности.

Существенное значение при диагностике преэклампсии уделяется также биохимическому маркеру PAPP-A (протеин А, ассоциированный с беременностью), который усиливает инвазию трофобласта, оказывает влияние на транспорт глюкозы и аминокислот в клетках [21]. На фоне сниженной продукции PAPP-A происходит повышение резистентности сосудов в системе мать — плацента — плод с ранних сроков беременности. У пациенток с преэклампсией наблюдается сниженный уровень PAPP-A на 11–14 неделе беременности.

Таким образом все вышеизложенное подтверждает тот факт, что прогнозирование развития преэклампсии на ранних сроках беременности возможно посредством измерения показателей артериального давления, показателей доплерометрии маточных артерий и показателей биохимических маркеров PIGF и PAPP-A.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галина Т.В. Преэклампсия: резервы улучшения исходов для матери и плода: Автореф. дисс. ... д.м.н. — М., 2011.
2. Заманская Т.А., Евсеева З.П., Евсеев А.В. Биохимический скрининг в I триместре при прогнозировании осложнений беременности // Российский вестник акушера-гинеколога. — М., 2019. — № 3. — С. 14–18.
3. Курочка М.П., Лебедеко Е.Ю., Гайда О.В. Прогнозирование развития гестоза в ранние сроки беременности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Медицина». — 2017. — № 5. — С. 133–136.
4. Логотова Л.С., Цивцивадзе Е.Б., Петрухин В.А., Гурьева В.М., Капустина М.В., Ахвледиани К.Н., Коваленко Т.С. Роль суточного мониторинга артериального давления в профилактике гестоза // Российский вестник акушера-гинеколога. — 2021. — Т. 7. — № 5. — С. 39–43.
5. Маланина Е.Н., Медведев М.В. Комбинированный скрининг преэклампсии в 11–14 недель беременности: литературный обзор современных методов прогнозирования и профилактики тяжелых гестозов // Пренат. диаг. — 2019. — № 3. — С. 197–207.
6. Радзинский В.Е., Оразмурадов А.А. Ранние сроки беременности // Status praesens. — М., 2019. — С. 480.
7. Савельева Г.М., Серов В.Н., Сухих Г.Т. Клинические рекомендации. Акушерство и гинекология. — 3-е изд., доп. и испр. / Под ред. Г.М. Савельевой, В.Н. Серова и Г.Т. Сухих. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009.
8. Хонина Н.А., Пасман Н.М., Останин А.А. Особенности продукции цитокинов при физиологической и осложненной беременности // Акуш. Гинек. — 2019. — № 2. — С. 11–14.
9. Akolekar R., Etchevaray A., Zhou Y., Maiz N., Nicolaides K.H. Maternal serum activin a at 11–13 weeks of gestation in hypertensive disorders of pregnancy // Fetal Diagn Ther. — 2020. — 25(3). — P. 320–327.
10. Cnossen J.S., Morris R.K., ter Riet G. et al. Use of uterine artery Doppler ultrasonography to predict pre-eclampsia and intrauterine growth restriction: a systematic review and bivariable meta-analysis // CMAJ — 2020. — 178. — P. 701.
11. Giguere Y., Charland M., Bujold E. et al. Combining biochemical and ultrasonographic markers in predicting preeclampsia: a systematic review // Clin Chem — 2018. — 56. — P. 361.
12. Gilbert J.S., Ryan M.J., La Marca B.B. et al. Pathophysiology of hypertension during pre-eclampsia: linking placental ischemia with endothelial dysfunction // Am J Physiol. Heart. Circ. Physiol. — 2019. — V. 294(3). — P. 541–550.
13. Goetzinger K.R., Singla A., Gerkowicz S. et al. The efficiency of first-trimester serum analytes and maternal characteristics in predicting fetal growth disorders // Am J Obstet Gynecol. — 2020, p. 78
14. Meloni P., D'Angeli I., Piazzè J. et al. First trimester PAPP-A levels associated with early prediction of pregnancy induced hypertension // Hypertens Pregnancy. — 2009. Aug; 28(4). — P. 361–368.
15. Pilalis A., Souka A.P., Antsaklis P. et al. Screening for pre-eclampsia and fetal growth restriction by uterine artery Doppler and PAPP-A at 11–14 weeks gestation // Ultrasound Obstet. Gynecol. — 2020. — 29. — P. 135–140.

© Пенжоян Григорий Артемович, Казанчи Фатима Байзетовна ( fatima.kazanchi.93@mail.ru ),

Андреева Маргарита Дарчоевна.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИММУНОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС ВОЕННОСЛУЖАЩИХ С АБСЦЕДИРУЮЩИМ ФУРУНКУЛОМ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ОБЛАСТИ

## IMMUNOLOGICAL STATUS OF MILITARY PERSONNEL WITH ABSCEDING FUUNCLUS OF THE MAXILLOFACIAL REGION

**T. Petrova  
I. Borodulina**

**Summary.** The impact of factors that affect the functional state of the regulatory (endocrine, nervous, immune) and executive systems (cardiovascular, respiratory, digestive, etc.) leads to a change in the reactivity and resistance of the body. This is especially true for young people who have newly arrived for military service. In the first six months, the adaptive mechanisms of military personnel are maximally activated, which affects the immunological parameters of the body. In particular, a change in these indicators can affect the development and course of an abscessed furuncle in the maxillofacial region.

**Keywords:** boil of the maxillofacial region, immunological status of military personnel, body reactivity.

**Петрова Татьяна Вячеславовна**

Хирург стоматолог ООО «Рубин»,

г. Санкт-Петербург

tanya-petrova-1995@yandex.ru

**Бородулина Ирина Ивановна**

Д.м.н., профессор, Военно-медицинская академия

имени С.М. Кирова

borodulina59@mail.ru

**Аннотация.** Воздействие факторов, оказывающих влияние на функциональное состояние регуляторных (эндокринной, нервной, иммунной) и исполнительных систем (сердечно-сосудистой, дыхательной, пищеварительной и др.), приводит к изменению реактивности и резистентности организма. Особенно это касается молодых людей, вновь прибывших на военную службу. В первые полгода адаптационные механизмы военнослужащих задействованы максимально, что сказывается на иммунологических показателях организма. В частности, изменение этих показателей может повлиять на развитие и течение абсцедирующего фурункула челюстно-лицевой области.

**Ключевые слова:** абсцедирующий фурункул челюстно-лицевой области, иммунологический статус военнослужащих, реактивность организма.

## Введение

Гнойно-воспалительные заболевания челюстно-лицевой области как одонтогенного, так и неодонтогенного генеза являются по частоте обращаемости за медицинской помощью одной из часто встречающихся патологий [1, 3, 6, 12]. Их возникновение и развитие зависит от состояния неспецифической защиты и особенностей специфической иммунной реакции макроорганизма на бактериальные антигены [7, 9, 12].

По мнению М.М. Соловьева, существуют четыре основных механизма, способствующих развитию острых и обострению хронических *одонтогенных* заболеваний: механическое повреждение соединительнотканной капсулы, окружающей инфекционный очаг при чрезмерной нагрузке на зуб; повышение концентрации микроорганизмов, их токсинов и продуктов тканевого распада в инфекционном очаге при нарушении проходимости существующих путей его дренирования; повышение реактивности организма, т.е. способности развить более выраженную воспалительную реакцию

на патоген; сниженная реактивность организма, возникающая при развитии острый инфекционных заболеваний (например, острая вирусная инфекция) [12]. Последние два фактора оказывают влияние и на возникновение и развитие неодонтогенных воспалительных заболеваний.

Реактивность организма зависит от показателей клеточного и гуморального иммунитета. В результате возникновения сдвигов нормативных показателей указанных параметров происходит возникновение той или иной патологии, в частности, фурункула челюстно-лицевой области. Многие исследователи отмечают наличие некоторых изменений в гуморальном и клеточном иммунитете у пациентов с фурункулом лица, что в первую очередь касается лиц с хроническим рецидивирующим фурункулезом, у которых в анамнезе нередко имеется соматическая патология [1, 7, 10].

Стоит отметить, что изменение иммунологических показателей происходит не только в процессе онтогенеза, но и под влиянием нагрузочных факторов. К нагрузочным факторам относятся физиологические,

которые естественны для человека (физическая и психоэмоциональная нагрузка, воздействие климатогеографических условий, прием пищи) и нефизиологические (сильное переохлаждение или перегревание, курение, воздействие неблагоприятных экологических факторов: пыль, радиация, химические вещества). Молодые люди, поступающие на воинскую службу, в большей степени подвергаются воздействию указанных факторов, что может повлиять на функционирование иммунной системы [2, 4, 5, 7, 8, 11].

В связи с этим мы посчитали необходимым изучить функциональные особенности иммунной системы военнослужащих, проходящих службу в военных гарнизонах, дислоцирующихся на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области, в анамнезе у которых имелся фурункул лица.

### Цель исследования

Изучить иммунологический статус и возможные причины его изменения у военнослужащих с абсцедирующим фурункулом челюстно-лицевой области.

### Материалы и методы

В период с 2019 по 2021 гг. в клинике кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Минобороны России (клиника) нами было проведено обследование и лечение 53 пациентов с фурункулом лица в стадии нагноения и некроза, осложненным абсцессом (основная группа). Критерием включения пациентов в исследование явилось наличие клинически установленного диагноза «Абсцедирующий фурункул лица» (МКБ-10). Алгоритм их обследования и лечения соответствовал приказу Минздравсоцразвития России от 11.02.2005 № 126 «Об утверждении стандарта медицинской помощи пациентам с абсцессом кожи, фурункулом и карбункулом». Кроме этого, нами была набрана группа из 30 практически здоровых лиц в возрастном диапазоне 18–25 лет (группа сравнения), которым также было проведено иммунологическое исследование. Полученные данные были использованы в качестве контроля.

В день поступления у больных была взята кровь из локтевой вены в сухую серологическую пробирку и в пробирку с ЭДТА в объеме 5 мл. В дальнейшем исследования субпопуляций лимфоцитов выполнялись в иммунологической лаборатории на проточном цитометре «Citomics FC500» фирмы «Beckman Coulter, США» с использованием 4 и 5 цветных комбинаций прямых моноклональных антител и изотипических контролей «Beckman Coulter».

Для решения задачи определения уровня эндогенной интоксикации был использован метод определения лейкоцитарного индекса интоксикации (ЛИИ) Я.Я. Кальф-Калифа (1941). Данный индекс выражает качественные изменения лейкоцитарной формулы единой математической величиной. Определение индекса проводилось по результатам общего анализа крови с использованием формулы:

$$(4M + 3Ю + 2П/Я + С/Я) \times (Пл + 1) / (Мо + Л) \times (Э + 1),$$

где: М — миелоциты, Ю — юные, П/Я — палочкоядерные нейтрофилы, С/Я — сегментоядерные нейтрофилы, Пл — плазматические клетки, Мо — моноциты, Л — лимфоциты, Э — эозинофилы (норма ЛИИ: 0,5 (0,3–1,5) усл. ед.).

Функциональное состояние клеточного звена иммунитета оценивали по общему и относительному количеству лимфоцитов с различными кластерами дифференцировки (CD) и иммунорегуляторному индексу (ИРИ). Состояние гуморального звена определяли по процентному соотношению иммуноглобулинов классов А, М и G.

Помимо иммунологических показателей нами были определены и проанализированы климатогеографические условия, сезонность проявления заболевания, условия проживания военнослужащих, особенности их быта и характер питания. Для этого нами был проведен тщательный сбор анамнеза и анкетирование по разработанным нами вопросам. С целью изучения условия проживания и быта военнослужащих мы посетили воинскую часть г. Сертолово. Для получения более полной статистической картины распространенности фурункула челюстно-лицевой области в военном здравоохранении нами были изучены данные по обращаемости с фурункулом лица в медицинский пункт воинской части в период с 2017 по 2019 года.

Электронная база данных исследования была создана с помощью редактора электронных таблиц Microsoft Office Excel 2017 по условиям, которые предъявляются к современным матрицам. Статистическая обработка осуществлялась с помощью специализированного пакета прикладных программ — R Studio 2021.09.0 Build 351 © 2009–2021 Studio, PBC и R version 4.1.2 (2021–11–01) — «Bird Hippie» Copyright (C) 2021 The R Foundation for Statistical Computing Platform: x86\_64-apple-darwin17.0 (64-bit) и R — бесплатное программное обеспечение для анализа данных с открытым исходным кодом, являются основой для инновационной важной работы в науке и образовании, широко применяются во всем мире.

Таблица 1. Рацион питания военнослужащих в течении дня

Завтрак	Обед	Ужин
Каша (рисовая, манная, гречневая, пшеничная), сливочное масло, мясо (либо колбаса, сосиска), яйцо, чай/кофе, хлеб	Каша (гречневая, пшеничная), пюре, рыба/мясо, суп (рыбный/мясной), салат, чай, сок	Рис/пюре, мясо/рыба, сливочное масло, чай, компот. Возможно вареники, пельмени.

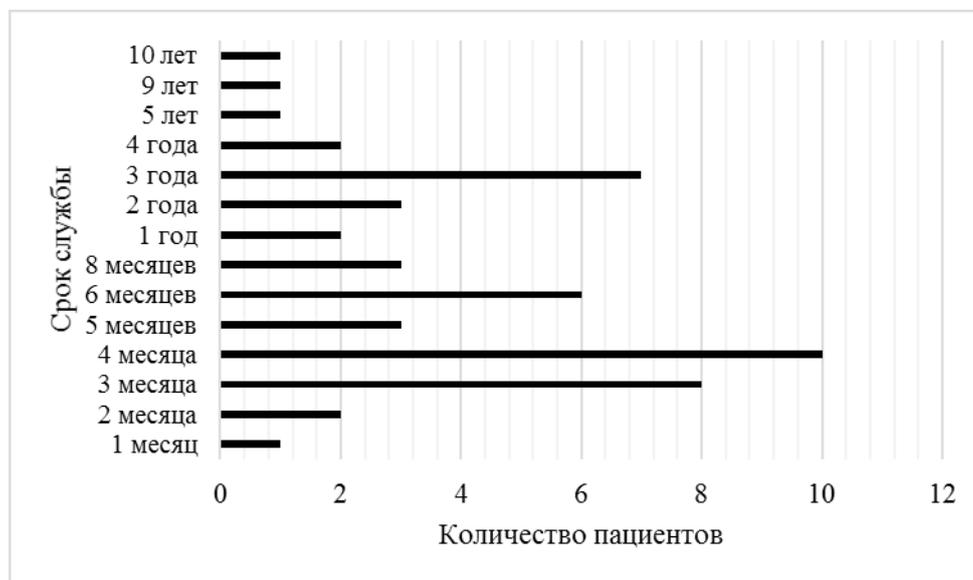


Рис. 1. Распределение пациентов-военнослужащих с фурункулом челюстно-лицевой области по сроку службы.

### Результаты и обсуждение

Все пациенты с абсцедирующим фурункулом лица являлись лицами мужского пола в возрастном диапазоне от 18 до 25 лет.

Среди них военнослужащие по призыву составили 38 чел. (72%), военнослужащие по контракту — 15 чел. (28%). Преимущественно в клинику поступали военнослужащие на 3–4 месяце службы — 34% (на 6 месяце службы — 11,3% пациентов) (рис. 1).

Известно, на военную службу призываются лица, не имеющие серьезных отклонений в состоянии здоровья. Несмотря на это, у двух пациентов в анамнезе выявлены сопутствующие заболевания, такие как гастродуоденит и мочекаменная болезнь, что составило 3,1% от общего числа всех пациентов.

Среди общего числа поступивших в клинику ЧЛХ и ХС ВМедА им. С.М. Кирова в 7,0% случаев наблюдали осложненное течение фурункула. Из осложнений чаще всего встречались острый серозный неспецифический лимфаденит, флебит угловой вены, выраженный колла-

теральный отек подглазничных областей и переносицы.

В медицинский пункт воинской части в период с 2017 по 2019 годы обратилось 28 человек с фурункулом лица в стадии нагноения и некроза в возрасте от 18 до 25 лет, которые проходили службу по призыву. Высокий процент обращаемости отмечался летом и осенью.

Характер питания военнослужащих оказался достаточно разнообразным и сбалансированным (таб.1).

Из таблицы следует, что практически всегда в составе завтрака, обеда и ужина присутствовали крупы (гречка, рис, пшено), мясные и колбасные изделия. В составе завтрака — сливочное масло и яйца. Чай или кофе 82% опрошенных предпочитали пить с сахаром (одна, две ложки) и молоком. 64% военнослужащих указали, что сладости (сахар, конфеты, пирожные, печенье) находились в рационе питания несколько раз в неделю, чаще в виде конфет и карамели.

По результатам опроса военнослужащих банно-прачечное обслуживание организовано долж-

Таблица 2. Показатели иммунной системы у пациентов с абсцедирующим фурункулом челюстно-лицевой области

Показатель	Группа клинического сравнения, n=30 (18–25 лет)	Основная группа, n=54 (18–25 лет)	Показатели нормы
Лейкоциты, $\cdot 10^9/\text{л}$	5,8±0,17*	9,75,8±0,15	3,6–9,4
CD3+, %	65,32±4,09*	68,5±1,71	53–80%
CD4+, %	36,4±1,45*	48,8±0,75	31–50%
CD8+, %	31,3±1,41*	18,6±1,03	20–30%
IgA, г/л	1,54±0,08*	2,02±0,79	0,4–4,1 г/л
IgM, г/л	1,30±0,08*	1,85±0,83	0,4–2,3 г/л
IgG, %	11,0±0,31*	10,15±0,7	6,3–18,6 г/л

Примечание: \* —  $p < 0,05$  (различия значений с группой клинического сравнения).

ным образом, каждый военнослужащий обеспечивался армейским несессером с необходимыми средствами гигиены. С целью профилактики развития заболеваний и контроля за состоянием здоровья военнослужащих проводились еженедельные медицинские осмотры.

По данным проведенного исследования установлено, что показатели клеточного и гуморального иммунитета у пациентов группы сравнения находились в пределах нормы. Показатели основной группы также находились в пределах нормы либо же на верхней её границе (табл. 2). Статистические значимые различия между группой клинического сравнения и основной группой доказаны с уровнем значимости  $p < 0,05$ .

В ходе анализа иммунограмм пациентов основной группы у 17 из них выявлен небольшой процент снижения Т-цитотоксических лимфоцитов (Тц) и относительно большое количество Т-хелперов (Тх). Это повлияло на соотношение Тх/Тц ( $2,5 \pm 0,07$  при норме 1,2–2,5). Ближе к исходу воспалительного процесса соотношение Тх/Тц составило  $1,48 \pm 0,41$ ). Такая динамика изменения показателя Тх/Тц говорит о нормально текущем воспалительном процессе, отражающем усиленную работу иммунной системы организма, и является положительным прогностическим признаком.

Содержание иммуноглобулинов классов А, М и G в сыворотке крови находились в пределах нормы. Лишь у 5 человек наблюдалась высокая концентрация суммарного иммуноглобулина М ( $12,27 \pm 0,08$  г/л). При повторном анализе перед выпиской показатели IgM были в пределах нормы ( $1,34 \pm 0,31$  г/л). При обследовании военнослужащих с фурункулом лица нами были

определены нормальные значения ЛИИ ( $0,55 \pm 0,02$  усл. ед.).

### Заключение

Реактивность организма играет существенную роль как в развитии заболевания, так и в процессе восстановления после перенесенной болезни. Факторы, определяющие реактивность организма, формируются на основе его наследственности, конституции, особенностей обмена веществ, состояния нервной, эндокринной и иммунной систем и зависят от пола, возраста, факторов внешней среды.

Известно, что особенности воинской службы оказывают существенное влияние на адаптационный потенциал молодых воинов, особенно в первые полгода службы, что характеризуется повышением уровня заболеваемости по первичной обращаемости инфекционных болезней, болезней органов дыхания, кожи и подкожной клетчатки, органов пищеварения. Это подтверждается и результатами нашего исследования, полученными у военнослужащих с абсцедирующим фурункулом лица. По данным иммунологических показателей, у молодых людей отсутствовали клинические признаки вторичного иммунодефицита, что могло быть связано с тем, что они здоровы и не имели в анамнезе сопутствующей патологии, наличие которой могло бы повлиять на показатели иммунной системы и процесс течения фурункула лица. Наличие же незначительных отклонений в начале развития заболевания (изменения показателей соотношения Тх/Тц, концентрации суммарного IgM) с последующей нормализацией показателей по разрешению заболевания свидетельствуют о нормергическом течении воспалительного процесса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бородулина, И.И. Фурункул и карбункул челюстно-лицевой области: учеб. пособие / И.И. Бородулина, И.С. Климова; Чит. гос. мед. акад.— Чита: РИЦ ЧГМА, 2011.— 67 с.
2. Вязицкий, П.О. Адаптация молодого воина к условиям воинской службы и профилактика дизадаптационных расстройств: метод. руководство / П.О. Вязицкий, М.М. Дьяконов, Б.В. Ендальцев.— Москва: МО СССР, 1990.— 27 с.
3. Евдокимов, В.И. Показатели заболеваемости военнослужащих контрактной службы Вооруженных Сил Российской Федерации (2013–2016 гг.): монография / В.И. Евдокимов, П.П. Сивашенко, С.Г. Григорьев; Воен.-мед. акад. им. С.М. Кирова, Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России.— Санкт-Петербург: Политехника-принт, 2018.— 80 с.
4. Лебедев, К.А. Иммунная недостаточность (выявление и лечение) / К.А. Лебедев, И.Д. Понякина.— Москва: Медицинская книга, Нижний Новгород: Изд-во НГМА, 2003.— 442.
5. Лебедев, К.А. Иммунограмма в клинической практике / К.А. Лебедев, И.Д. Понякина; отв. ред. В.С. Авдеева; Акад. наук СССР. Отд. физиологии.— Москва: Наука, 1990.— 224 с.
6. Медико-статистическая характеристика заболеваемости военнослужащих по призыву Вооруженных Сил Российской Федерации (2007–2016 гг.) / С.Г. Григорьев, В.И. Евдокимов, В.В. Иванов [и др.] // Военно-медицинский журнал.— 2017.— Т. 338, № 10.— С. 4–14.
7. Новикова, И.А. Показатели иммунного статуса у больных хроническим рецидивирующим фурункулезом в стадии ремиссии / И.А. Новикова, А.В. Голяко // Медицинская иммунология.— 2010.— Т. 12, № 3.— С. 241–246.
8. Паклин, Р.В. Показатели адаптации солдат срочной службы к новым условиям жизнедеятельности // Пермский медицинский журнал.— 2010.— Т. 27, № 1.— С. 113–117.
9. Пиодермии: учеб. пособие / Минздрав России [и др.]; под общ. ред. С.А. Чернядьева, М.А. Уфимцевой.— Екатеринбург: изд-во УГМУ, 2016.— 103 с.
10. Сетдикова, Н.Х. Комплексные механизмы развития хронического рецидивирующего фурункулеза и пути их коррекции / Н.Х. Сетдикова, Т.В. Латышева // Иммунология.— 2000.— № 3.— С. 48–50.
11. Соколова, Т.В. Оценка состояния неспецифического гуморального иммунитета у военнослужащих / Т.В. Соколова, В.В. Гладько, Н.Ю. Кудашев // Военно-медицинский журнал.— 2006.— Т. 327, № 4.— С. 22.
12. Соловьев, М.М. Гнойно-воспалительные заболевания головы и шеи: этиология, патогенез, клиника, лечение / М.М. Соловьев, О.П. Большаков, Д.В. Галецкий.— 3-е изд.— Москва: Умный доктор.— 3-е изд.— 2016.— 191 с.

© Петрова Татьяна Вячеславовна ( tanya-petrova-1995@yandex.ru ), Бородулина Ирина Ивановна ( borodulina59@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## НАШИ АВТОРЫ    OUR AUTHORS

**Abramchik D.** — Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev  
abramchik\_daniil@mail.ru

**Afanasyev A.** — Teaching assistant, Bauman Moscow State Technical University (National Research University)  
wolfram\_zn@mail.ru

**Afanasyev G.** — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Bauman Moscow State Technical University (National Research University)  
gaipcs@bmstu.ru

**Afanasyev G.** — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Bauman Moscow State Technical University (National Research University)  
gaipcs@bmstu.ru

**Akhmedov A.** — Cardiologist, Dagestan State Medical University, Makhachkala  
wf\_player@list.ru

**Aksenova S.** — Professor, Doctor of Medical Sciences, National Research Ogarev Mordovia State University Saransk  
aksenovamed@mail.ru

**Andreeva M.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Kuban State Medical University

**Arabova G.** — Doktorant, Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan  
gulu.arabova@mail.ru

**Aydinyan L.** — Assistant, Shushi University of Technology  
luskarapetian@gmail.com

**Azovskova O.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Smolensk State Medical University  
oazovskova@gmail.com

**Bakshaliyeva K.** — Doctor of biological sciences, associate professor, Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan  
konul.baxsh@mail.ru

**Barkovets K.** — Graduate student, Belgorod State University  
barkovec\_k73@mail.ru

**Bondarenko S.** — Bryansk State Engineering and Technology University  
Bondrenkoseregabondarenko576@gmail.com

**Borodulina I.** — MD, Professor, Kirov Military Medical Academy  
borodulina59@mail.ru

**Budaichieva P.** — Dagestan State Medical University, Makhachkala

**Budaichiev G.** — PhD, Assistant, Dagestan State Medical University, Makhachkala  
gasan.budaychiev005@mail.ru

**Burygin V.** — Postgraduate student, St. Petersburg State University of Telecommunications named after Prof. M.A. Bonch-Bruевич  
slashburygin@gmail.com

**Demicheva A.** — Junior Researcher at the Scientific Laboratory Satellite Telecommunication Systems, Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev  
gaipovke@yandex.ru

**Efimin A.** — Graduate student, Belgorod State University  
a-efimin@yandex.ru

**Falkov G.** — Postgraduate student, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod  
falkov.ga@bstu.ru

**Fedosov E.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Smolensk State Medical University  
fedosoffevgenij@yandex.ru

**Gaipov K.** — Leading researcher at the Scientific Laboratory Satellite Telecommunication, Candidate of Technical Sciences, Siberian State University of Science and Technology. academician M.F. Reshetnev

**Gaipov K.** — Leading researcher at the Scientific Laboratory Satellite Telecommunication; Candidate of Technical Sciences, Siberian State University of Science and Technology. academician M.F. Reshetnev

**Gaipov K.** — Leading researcher at the Scientific Laboratory Satellite Telecommunication; Candidate of Technical Sciences, Siberian State University of Science and Technology. academician M.F. Reshetnev  
gaipovke@yandex.ru

**Ganin P.** — NRU "MPEI", Moscow  
ganinpe@gmail.com

**Gaponenko A.** — Candidate of Pedagogical Sciences, Docent, Russian State Social University, Moscow  
gaponenkoav@rgsu.net

**Garunov Z.** — Cardiologist, Dagestan State Medical University, Makhachkala  
zalik.garunov@mail.ru

**Glebov S.** — Associate Professor, Cand. Sc. (Physics and Mathematics) Kaluga Branch of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University)  
saglebov@bmstu.ru

**Gorlov A.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod  
belgoras@mail.ru

**Hayrapetyan V.** — Doctor of biological sciences, professor, Artsakh State University  
vahram76@mail.ru

**Iglovikov A.** — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, State Agrarian University of Northern Trans-Urals, Tyumen  
iglovikovav@gausz.ru

**K. Fen**—undergraduate student, Bauman Moscow State Technical University (National Research University)  
723882109@qq.com

**Kapranov S.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University  
serg.kapranov@gmail.com

**Kazanchi F.** — Kuban State Medical University  
fatima.kazanchi.93@mail.ru

**Khizriev M.** — Cardiologist, Dagestan State Medical University, Makhachkala  
theege4biology@gmail.com

**Khozina E.** — Assistant Professor, National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk  
eahozina@gmail.com

**Kireeva O.** — Pathologist of the Department of Clinical Pathology No. 1 of the Smolensk Regional Institute of Pathology

**Kobrin A.** — NRU "MPEI", Moscow

**Kondratev K.** — Postgraduate student, Institute of Information Systems and Computer Engineering Technologies, Russian new university  
kirillko645@gmail.com

**Kovrova E.** — Leading specialist, Big Data Storage and Analysis Center Lomonosov Moscow State University (Moscow)  
lubomirova.ek@digital.msu.ru

**Krikunov I.** — Junior Researcher at the Scientific Laboratory Satellite Telecommunication Systems, Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev

**Krikunov I.** — Junior Researcher at the Scientific Laboratory Satellite Telecommunication Systems, Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev

**Krutov T.** — Graduate student, Bauman Moscow State Technical University (National Research University)  
timofeykrutov@gmail.com

**Kulyasova O.** — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, State Agrarian University of Northern Trans-Urals, Tyumen  
oksana-2505kul@mail.ru

**Kumaksheva T.** — Assistant Professor, National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk  
tanya.kumaksheva@mail.ru

**Kurbatov S.** — Postgraduate student, Russian State Social University, Moscow  
mo-kurbatov@m-obvu.ru

**Lomova I.** — Candidate of Medical Sciences, senior research associate of the Research Laboratory of Cerebrovascular Pathology, Research Center Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia, St. Petersburg  
irpalo@mail.ru

**Lyakhmanov D.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University  
dm.virger@gmail.com

**Magadova G.** — Cardiologist, Dagestan State Medical University, Makhachkala

**Malysheva V.** — National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk  
vmalysheva99@yandex.ru

**Mamedov F.** — Dagestan State Medical University, Makhachkala

**Manshin I.** — Postgraduate student, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod  
manhin@yandex.ru

**Marinkina A.** — Kursk state medical University

**Maschilieva M.** — PhD, Assistant, Dagestan State Medical University, Makhachkala

**Medzhidova N.** — Assistant, Dagestan State Medical University, Makhachkala

**Melnikov D.** — KF MSTU. N.E. Bauman  
melnikov-dv@eandex.ru

**Miniyarov F.** — Candidate of biological sciences, The Presidential Lyceum Sirius  
fminiyarov@mail.ru

**Nesterov Yu.** — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Bauman Moscow State Technical University (National Research University)  
ugn@bmstu.ru

**Orekhov S.** — Senior Lecturer, Kaluga Branch of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University)  
serg31057@mail.ru

**Pavlov S.** — Candidate of biological sciences, associate professor, Samara State University of Social Sciences and Education  
pavlov@sgspu.ru

**Penzhoyan G.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Kuban State Medical University

**Petrova T.** — Dentist surgeon Rubin LLC, St. Petersburg  
tanya-petrova-1995@yandex.ru

**Petrovichev M.** — KF MSTU. N.E. Bauman  
tabblif@yandex.ru

**Polenok M.** — Bryansk State Engineering and Technology University  
polenok.maksim.2001@mail.ru

**Popov S.** — Postgraduate student, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod  
popov.gs.bstu@yandex.ru

**Prikhodko D.** — Master's degree, engineer of computing and electronic computing machines, Federal Scientific Center Research Institute of System Research of the Russian Academy of Sciences, Moscow  
mitry1205@mail.ru

**Prosvernin A.** — Kaluga Branch of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University)  
aprosvernin@mail.ru

**Rakov D.** — Leading specialist, Big Data Storage and Analysis Center Lomonosov Moscow State University (Moscow)  
rakov.d@digital.msu.ru

**Rodionov N.** — Senior Lecturer, Tyumen Industrial University, Nizhnevartovsk  
nic\_rodionov@mail.ru

**Sakharov V.** — Senior Lecturer, Kaluga Branch of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University)  
vlad.saharov2011@yandex.ru

**Shitov E.** — Leading specialist, Big Data Storage and Analysis Center Lomonosov Moscow State University (Moscow)  
egor.shitov@digital.msu.ru

**Shpigier N.** — Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev

**Skadin A.** — Kaluga Branch of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University)  
a.skadin@mail.ru

**Slastyak I.** — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor. Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy  
slastyak@rgau-msha.ru

**Smirnov S.** — Post-graduate student, Russian Technology University MIREA, PMP, Head of project management department, PJSC “Vimpelcom”, Moscow  
smirnov.s.p1@edu.mirea.ru, spvert@mail.ru

**Startsev S.** — Senior Researcher, Institute of Mathematics, Ufa Federal Research Centre of RAS, Ufa  
intsys@internet.ru

**Sytnik N.** — Associate Professor, Kerch State Maritime Technological University  
amtek-kerch@mail.ru

**Tausnev D.** — Siberian State University of Science and Technology Named After Academician M.F. Reshetnev  
mr.tays@bk.ru

**Tereshchenko I.** — Leading specialist, Big Data Storage and Analysis Center Lomonosov Moscow State University (Moscow)  
igor.tereshchenko@digital.msu.ru

**Tikhonov M.** — Cand. Sc. (Technology), associated professor of institute SPINTech, National Research University of Electronic Technology  
kurotenshi91@yandex.ru

**Tikhonov R.** — Senior lecturer, National Research University of Electronic Technology  
expert-economist@mail.ru

**Vasilchenko N.** — M. sc., D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University; S.sc., Pokrovsky Concern, Rostov-on-Don  
nvasilchenko@sfedu.ru

**Vasiliev R.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University  
serg.kapranov@gmail.com

**Voronin T.** — Leading specialist, Big Data Storage and Analysis Center Lomonosov Moscow State University (Moscow)  
voronin@digital.msu.ru

**Vasilyeva O.** — MD, PhD Associate professor, National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk; Ophthalmologist, Limited Liability Company “Dr. Kurenkov Clinic”, Moscow  
olga11vasilyeva@gmail.com

**Yaitsky A.** — Senior lecturer, Samara State University of Social Sciences and Education  
yaitsky@sgspu.ru

**Yaitsky A.** — Senior lecturer, Samara State University of Social Sciences and Education  
yaitsky@sgspu.ru

**Yurkova O.** — Ph.D., Bryansk State Engineering and Technology University  
yurkova\_olga@mail.ru

**Zelenskiy O.** — Bryansk State Engineering and Technology University  
zelenskiyoleg2000@gmail.com

**Zhurbenko V.** — Kursk state medical University  
prepvermed@mail.ru

**Zubkova V.** — Doctor of Biological Sciences, Professor, Russian State Social University, Moscow  
vmzubkova@yandex.ru

## 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 допускаются.
- ◆ 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](mailto:redaktor@nauteh.ru) ).