

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№4-2 2023 (АПРЕЛЬ)

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>

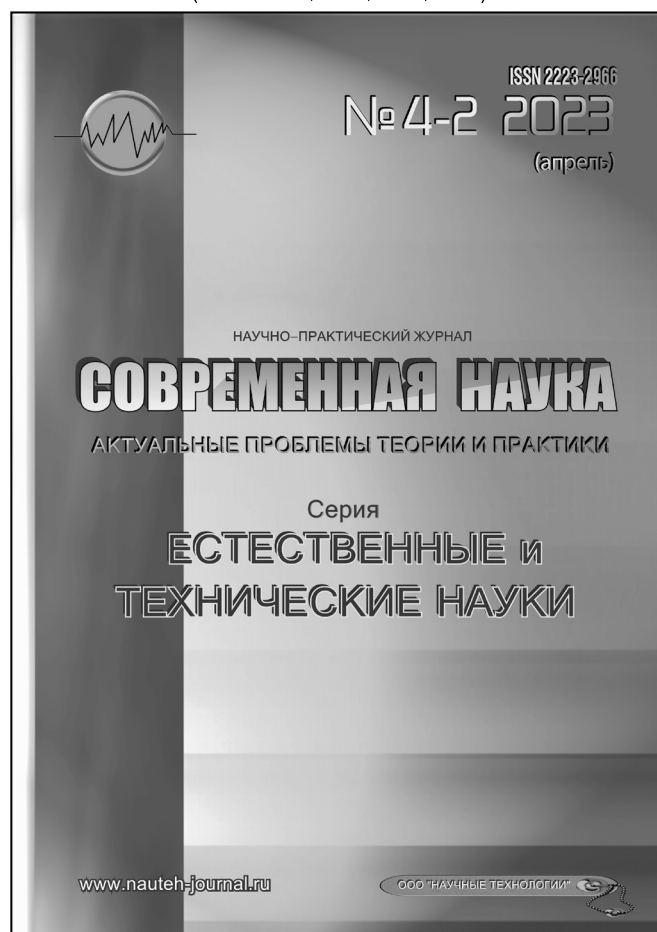
Журнал зарегистрирован Федеральной службой  
по надзору в сфере массовых коммуникаций,  
связи и охраны культурного наследия.

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 25.04.2023 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

**Бахшалиева К.Ф., Гусейнова Г.Н., Гудратова Ф.Р., Мохоммади Сумая Давут Мохамад, Эфенди У.А.** — Видовое разнообразие распространенных в Азербайджане грибов и их фитотоксическая активность  
*Bakhshaliyeva K., Huseynova G., Gudratova F., Mohommadi Sumaya Mohamad Davud, Efendi U.* — Species diversity of fungi common in Azerbaijan and their phytotoxic activity ..... 7

**Дрожжина В.Н.** — Изменение параметров генеративных органов *pinus sylvestris* L. в условиях техногенного загрязнения  
*Drozhhina V.* — Changing the parameters of generative organs *pinus sylvestris* L. in conditions of technogenic pollution. .... 13

**Егорова А.В., Гатиятуллина А.Ф., Калининкова Т.Б.** — Регуляция дофамином чувствительности линий *Caenorhabditis elegans* N2 И CB1112 (cat-2 (e1112) II) к токсическому действию нитрата свинца  
*Egorova A., Gatiyatullina A., Kalinnikova T.* — Dopamine regulates sensitivity of *Caenorhabditis elegans* N2 AND CB1112 (cat-2 (e1112) II) strains to toxic action of lead nitrate. .... 19

**Королев В.А., Седых А.В., Потенко В.В., Фелькер Е.В., Ячменева Л.А., Королев Е.В.** — Концентрация активных форм кислорода в биологических средах организма при интоксикации фунгицидом тирам  
*Korolev V., Sedykh A., Potenko V., Felker E., Yachmeneva L., Korolev E.* — Concentration of reactive oxygen species in the biological environment of the body during thiram fungicide intoxication ..... 25

**Морозова А.С., Лабзина М.В., Морозов М.В., Кияева Т.А., Сетяева Ю.И., Кижаккина С.В., Емельянов А.А.** — Формирование и функции нервной системы в организме человека  
*Morozova A., Labzina M., Morozov M., Kiyaeva T., Setyaeva J., Kizhapkina S., Emel'yanov A.* — Formation and functions of the nervous system in the human body. .... 29

**Юсифова М.Р., Мамедалиева М.Х., Ахундова Н.А., Бабашлы А.А., Гусейнли С.М.** — Общая характеристика микобиоты некоторых растений, используемых в условиях Азербайджана в пищевых целях  
*Yusifova M., Mammedaliyeva M., Akhundova N., Babashly A., Huseynli S.* — General characteristics of the mycobiota of some plants used for food purposes under the conditions of Azerbaijan ..... 36

## Информатика, вычислительная техника и управление

**Амирасланов Э.Г., Сараджишвили С.Э., Леонтьева Т.В.** — Улучшенный метод распознавания речи для разработки системы голосового управления  
*Amiraslanov E., Saradgishvili S., Leontieva T.* — Improved speech recognition method for developing a voice control system ..... 42

**Башмаков Р.А.** — Сравнение методов зарядки емкостных накопителей энергии  
*Bashmakov R.* — Comparison of charging methods for capacitive energy storage ..... 46

**Букарев А.В.** — Создание имитационной модели процессов тестирования программного обеспечения в АСУ ТП с использованием теории массового обслуживания  
*Bukarev A.* — Creating a simulation model of software testing processes in an automated control system for technological processes using queuing theory. .... 51

**Васянин А.К., Калашников С.Н.** — Метод ранжирования операторских компаний при управлении перевозками на железнодорожном транспорте в рамках управления временем  
*Vasyanin A., Kalashnikov S.* — Ranking method for operator companies in the management of railway transportation within the framework of rolling stock provision time management ..... 55

<b>Голушков Н.А., Кокуев А.Г.</b> — Метод построения системы раннего предупреждения об опасных отклонениях в показателях качества воды и закономерности её функционирования <i>Golushkov N., Kokuev A.</i> — A method for constructing an early warning system about dangerous deviations in water quality indicators and the regularities of its functioning. ....61	<b>Михаэлис В.В., Михаэлис С.И.</b> — Шифрование в среде MS Excel для безопасной передачи и хранения данных <i>Mikhaelis V., Mikhaelis S.</i> — Encryption in MS Excel environment for secure data transmission and storage .....99
<b>Горячкин Б.С., Солохов И.Р.</b> — Подбор алгоритма консенсуса для логистического блокчейна <i>Goryachkin B., Solokhov I.</i> — Selection of the consensus algorithm for the logistics blockchain .....65	<b>Пензев К.И.</b> — Организация процесса принятия решения при заключении договоров теплоэнергетической организацией с потребителями <i>Penzev K.</i> — Organization of the decision-making process when concluding contracts by a heat and power organization with consumers .....103
<b>Иванов В.О., Амосов В.В., Коликова Т.В.</b> — Использование нейронной сети для работы с видеофайлами <i>Ivanov V., Amosov V., Kolikova T.</i> — Using a neural network to work with video files .....71	<b>Селин В.И., Чернецкая И.Е.</b> — Разработка информационно-управляющих систем на основе двоичной биномиальной системы расчета <i>Selin V., Chernetskaya I.</i> — Development of information and control systems based on the binary binomial calculation system .....112
<b>Конаков П.О.</b> — Разработка методологии унификации загрузки данных в хранилище данных модели data vault <i>Konakov P.</i> — Developing a methodology to unify data loading into the data vault model .....78	<b>Селютин А.Д., Большелатов М.А., Кушников В.А., Бровко А.В., Торопова О.А.</b> — Анализ качества Oracle ERP Cloud <i>Selyutin A., Bolshelapov M., Kushnikov V., Brovko A., Toropova O.</i> — Oracle ERP Cloud quality analysis .....118
<b>Ломовцев Р.С., Ромашкова О.Н.</b> — Методика обучения композиций моделей классификации для повышения точности выходных данных о деятельности образовательных организаций <i>Lomovtsev R., Romashkova O.</i> — Methodology for teaching compositions of classification models to increase the accuracy of output data on the activities of educational organizations .....85	<b>Тимофеев А.Н., Евдокимова И.С., Хаптахеева Н.Б.</b> — Семантическое моделирование: обзор процессов, инструментов, методов и знаний предметной области разработки программного обеспечения (Часть 2) <i>Timofeev A., Evdokimova I., Khaptakhaeva N.</i> — Semantic modeling of the software development domain: tools, methods, knowledge (part 2) .....122
<b>Ляхманов Д.А., Капранов С.Н., Степаненко М.А.</b> — Алгоритм детектирования пожаров на сельскохозяйственных полях <i>Lyakhmanov D., Kapranov S., Stepanenko M.</i> — Algorithm for detecting fires in agricultural fields .....91	<b>Хакимова З.Н.</b> — О нахождении классов дифференциальных уравнений, инвариантных относительно дискретных преобразований <i>Khakimova Z.</i> — On finding classes of differential equations invariant with respect to discrete transformations .....130
<b>Масалева М.В., Филкова А.П.</b> — Управление комплексной безопасностью предприятий агропромышленного комплекса в условиях цифровизации отрасли <i>Masaleva M., Filkova A.</i> — Management of complex security of agro-industrial enterprises in the conditions of digitalization of the industry .....96	<b>Царик Д.В.</b> — Распознавание вида модуляции импульсной последовательности в средствах радиотехнического контроля <i>Tsarik D.</i> — Recognition of the type of modulation of the pulse sequence in the means of radio engineering control .....136

- Царик Д.В.** — Алгоритм временной селекции импульсных последовательностей в смешанном потоке радиолокационных сигналов  
*Tsarik D.* — Algorithm for time selection of pulsed sequences in a mixed radar signal stream .....144
- Черенкова И.А., Кутликова И.В., Новиков М.В.** — Перспективы развития действующих информационных систем Министерства сельского хозяйства Российской Федерации  
*Cherenkova I., Kutlikova I., Novikov M.* — Prospects for the development of existing information systems of the Ministry of agriculture of the Russian Federation .....155
- Шалгужева С.Л., Леонтьева Т.В.** — Методология внедрения бессерверных технологий в систему с микросервисной архитектурой  
*Shalgueva S., Leontieva T.* — Methodology for implementing serverless technology in a system with a microservice architecture .....159
- Клиническая медицина**
- Дубинина В.В., Павлова С.П.** — Агрегация тромбоцитов как ответ на дисфункцию эндотелия и продукты деградации фибрина при новой коронавирусной инфекции  
*Dubinina V., Pavlova S.* — The platelets aggregation is response on an endothelium disfunction and fibrin monomers complexes in new coronavirus infection .....166
- Елисейкина Е.В., Семелева Е.В., Курмышева Т.В., Лукичева Я.С.** — оценка онкологической заболеваемости полости рта среди населения в Республике Мордовия  
*Eliseikina E., Semeleva E., Kurmysheva T., Lukicheva Ya.* — Assessment of the oncological morbidity of the oral cavity among the population in the Republic of Mordovia .....171
- Калиматова Д.М., Доброхотова Ю.Э., Ильина И.Ю.** — Применение обогащенной тромбоцитами плазмы в лечении бесплодия, обусловленного патологией эндометрия и сниженным овариальным резервом  
*Kalimatova D., Dobrokhotova Yu., Ilina I.* — The application of platelete-rich plasma in the treatment of infertility caused by endometrial pathology and reduced ovarian reserve .....176
- Кушнир Е.К., Иванченкова В.В., Муравлянцева М.М., Шаляпина А.В.** — Современные аспекты диагностики и лечения хронического эндометрита как причины бесплодия  
*Kushnir E., Ivanchenkova V., Muravlyantseva M., Shalyapina A.* — Modern aspects of the treatment of chronic endometritis as a cause of infertility .....183
- Макарова Н.И., Слукина М.С., Пескова А.В.** — Применение трансплантатов для аугментации мягких тканей в области дентальных имплантатов  
*Makarova N., Slukina M., Peskova A.* — The use of grafts for soft tissue augmentation around the dental implants .....189
- Михайлов И.Ю., Козырева К.Ф.** — Современные аспекты хирургического лечения меланомы  
*Mikhailov I., Kozyreva K.* — Modern aspects of surgical treatment of melanoma .....195
- Парамонова Д.С., Плигина Е.В., Семелева Е.В.** — Анализ заболеваемости сахарным диабетом в России в период с 2017 г. по 2021 г.  
*Paramonova D., Pligina E., Semeleva E.* — Analysis of the incidence of diabetes mellitus in Russia since 2017 by 2021 .....201
- Полещук О.Ю., Умеров И.Ф., Величко Д.Д., Ерофеева А.В., Пейливанов М.Г., Решидов З.А.** — Новейшие концепции в лечении корневых каналов  
*Poleshchuk O., Umerov I., Velichko D., Erofeeva A., Peylivanov M., Reshidov Z.* — The latest concepts in root canal treatment .....207
- Стефанян Н.А., Хашаева Т.Х.-М., Абусева З.А., Маммаева С.М., Аллахкулиева С.З., Одаманова М.А., Алиева С.А.** — Новые методы профилактики и диагностики железодефицитных состояний в акушерстве и гинекологии  
*Stefanyan N., Khashaeva T., Abusueva Z., Mammaeva S., Allahkulieva S., Odamanova M., Alieva S.* — New methods for the prevention and diagnostics of iron deficiency in obstetrics and gynecology .....214

<p><b>Фазез Афсун, Сафонов Н.В., Файбушевич А.Г., Баранович В.Ю.</b> — Последние достижения в технологии методов интервенционного лечения фибрилляции предсердий  <i>Fayez Afsoon, Safonov N., Faybushevich A., Baranovich V.</i> — Latest technological advances for catheter ablation of atrial fibrillation .....218</p>	<p><b>Щеголев А.А., Ларин А.А., Слободяник А.С., Светлов Е.В., Шафигуллин Р.Р., Ульянова В.А.</b> — Клинический случай: правосторонний узловый эутиреоидный зоб с ретротрахеальным расположением  <i>Shegolev A., Larin A., Slobodyanik A., Svetlov E., Shafigullin R., Ulianova V.</i> — Clinical case: right-sided nodular non-toxic goiter with a retrotracheal location .....229</p>
<p><b>Шустова Т.А., Дерябина Н.М., Чегодаева Л.В.</b> — Трудный пациент: инфекционный эндокардит или болезнь Стилла взрослых?  <i>Shustova T., Deryabina N., Chegodaeva L.</i> — Difficult patient: infectious endocarditis and adult Still's disease? .....225</p>	<p><b>Информация</b></p> <p>Наши авторы. Our Authors .....235</p> <p>Требования к оформлению рукописей и статей для публикации в журнале ....240</p>

# ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ ГРИБОВ И ИХ ФИТОТОКСИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

## SPECIES DIVERSITY OF FUNGI COMMON IN AZERBAIJAN AND THEIR PHYTOTOXIC ACTIVITY

**Bakhshaliyeva Konul Farukh**  
**Huseynova Gulnar Nazim**  
**Gudratova Fidan Rahim**  
**Mohommadi Sumaya Mohamad Davud**  
**Efendi Ulviya Arif**

*Summary.* In the studies carried out, from soil and plant samples taken from various biotopes of Azerbaijan, the presence of 50 species of fungi was determined, 8 of which belong to the genus *Alternaria*, 14 to the genus *Aspergillus*, 11 to the genus *Fusarium* and 17 to the genus *Penicillium*. It was found that among the toxically active species belonging to the genus *Fusarium*, both the specific gravity and the activity of individual species have a higher indicator, and the germination of seeds of various plants under their influence can decrease by 24–59%. The same indicator is 20–46%, 18–45% and 16–45% for the genera *Alternaria*, *Aspergillus* and *Penicillium*, respectively.

*Keywords:* soil, plant, fungus, species composition, phytotoxic activity.

Грибы, нуждающиеся в готовом органическом веществе, получают его из растительных и животных организмов, что реализуется путем их паразитирования, установления симбиотических отношений или расселения [9]. Последний вариант сопровождается загрязнением как растительных и животных остатков в почве, так и других запасов продукции и промышленного сырья. По этой причине почва считается одним

**Бахшалиева Конуль Фаррух**  
 Д.б.н., доц., заведующая лабораторией  
 «Микробиологическая биотехнология» Институт  
 Микробиологии Министерства Науки и Образования  
 Азербайджанской Республики  
 konul.baxsh@mail.ru

**Гусейнова Гульнар Назим**  
 Докторант, Институт Земледелия Министерства  
 Сельского Хозяйства Азербайджанской Республики  
 gulnarefeyzullayeva0707@gmail.com

**Гудратова Фидан Рагим**  
 Магистр, Институт Микробиологии  
 Министерства Науки и Образования Азербайджанской  
 Республики  
 fqudretova@gmail.com

**Мохоммади Сумая Давут Мохамад**  
 Магистр, Институт микробиологии  
 Министерства Науки и Образования Азербайджанской  
 Республики  
 sumimohammadi0104@gmail.com

**Эфенди Ульвия Ариф**  
 Научный сотрудник лаборатории  
 «Микробиологическая биотехнология», Институт  
 Микробиологии Министерства Науки и Образования  
 Азербайджанской Республики  
 azmbi@mail.ru

*Аннотация.* В проведенных исследованиях в образцах почв и растений различных биотопов Азербайджана обнаружено 50 видов грибов, 8 из которых относятся к роду *Alternaria*, 14 — к роду *Aspergillus*, 11 — к роду *Fusarium* и 17 — к роду *Penicillium*. Выявлено, что среди видов рода *Fusarium* есть токсически активные, у которых больше удельный вес и показатель активности отдельных видов, а всхожесть семян различных растений под их влиянием может снижаться на 24–59%. Аналогичный показатель для родов *Alternaria*, *Aspergillus* и *Penicillium* составляет 20–46%, 18–45% и 16–45% соответственно.

*Ключевые слова:* почва, растение, гриб, видовой состав, фитотоксическая активность.

из основных мест обитания микроорганизмов, в том числе грибов [3, 16], что в свою очередь можно отнести и к токсическим видам грибов.

Несмотря на то, что токсигенные виды грибов известны людям с древних времен, всестороннее изучение грибов с такими особенностями относится к 60-м годам прошлого века [13]. Это связано с тем, что основ-

ной фактор патогенности таких грибов связан с синтезируемыми ими токсинами [6, 8], а их идентификация представляет собой непростую задачу и возможна только при определенном уровне развития науки и техники. В целом следует отметить, что грибы-токсигены представляют собой большую и неоднородную группу микроскопических грибов, отличающихся друг от друга по таксономическому строению, морфологическим признакам, способностям к питанию и размножению, местам обитания, циклу развития, а также по патологическому воздействию на живые организмы [15, 20].

Богатая природа Азербайджана обусловила широкое распространение здесь грибов, и по этой причине они длительное время являются предметом исследований различного аспекта [1, 12, 19]. В результате был определен видовой состав тысячи грибов, найдены новые для науки виды, изучены некоторые аспекты законов их распространения и в определенном смысле выявлены и некоторые другие вопросы. Хотя эти исследования являются недостаточными для полной характеристики микобиоты природы Азербайджана, но в тоже время их можно рассматривать как микологические исследования систематического характера. Вышесказанное нельзя отнести к токсигенным грибам. Так, в проведенных исследованиях среди обнаруженных грибов выявлено наличие токсигенных видов и имеются исследования их фито- и зоотоксической активности, и все это было выявлено в результате наших исследовательских работ. Тем не менее, результаты, полученные в экспериментальных исследованиях, нельзя считать достаточными для характеристики типичных для микобиоты Азербайджана токсигенных видов.

Кроме того, в последнее время резко возросло антропогенное воздействие на окружающую среду, и одним из его проявлений являются изменения характера биологических процессов в различных экосистемах, не обошедшие стороной и те, в которых участвуют и грибы. Выяснение характера этих изменений актуально на сегодняшний день в плане предупреждения ситуаций, возникающих вследствие антропогенных воздействий и имеющих преимущественно нежелательные последствия. Несмотря на проводимые в этом направлении исследования, полученные до сих пор результаты недостаточны с точки зрения полного понимания сути вопроса в данной области, и существует серьезная потребность в продолжении данных исследований.

Следует отметить, что в настоящее время насчитывается более 100 видов токсигенных грибов и количество синтезируемых ими микотоксинов составляет около 400. К таким токсигенным грибам относятся виды

родов *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* и др. [15], но токсическое действие этих видов грибов на уровне отдельных родов всесторонне не изучено.

Поэтому, целью представленной работы явилось изучение видового состава и токсической активности грибов *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium* и *Penicillium*, распространенных в условиях Азербайджана.

## Материалы и методы

Образцы для исследований были взяты из почв и растений Большого Кавказа, Кура-Аразской равнины Азербайджанской Республики. Отбор проб проводили известными методами, основанными на выборе маршрута и стационарных участков, широко применяемых в микологических и микробиологических исследованиях [10]. Для выделения и получения чистых культур грибов из отобранных образцов были использованы сусло-агар, рисовый и картофельный агары, среда Чапека [5, 7]. Эти питательные среды использовались и для поддержания рабочих культур. При изучении фитотоксической активности грибов использовали жидкую среду Чапека.

При идентификации грибов, выделенных из взятых образцов всех ценозов в чистую культуру, были использованы определители, основанные на культурально-морфологических и физиологических признаках [17, 22]. Систематизацию и номенклатуру грибов проводили по данным официального сайта МАГ [14].

Фитотоксическая активность зарегистрированных в ходе исследований грибов проверялась в процессе проращивания пшеницы, фасоли и гороха, при котором использовали конкретное количество семян - 200 семян каждого растения. Грибы после культивирования на жидкой среде Чапека в течение 5 дней фильтровали и полученный раствор использовался для определения активности. Семена замачивались на 24 часа в этой КЖ, а в качестве контроля использовали стерильную среду Чапека. После этого семена помещались на увлажненную фильтровальную бумагу и проращивались при комнатной температуре (20–22°C) в течение 7 дней.

Фитотоксическая активность (в%) грибов определялась также по формуле  $P = (n/N) \times 100$ , где  $P$  — фитотоксическая активность,  $n$  — количество не проросших семян,  $N$  — общее количество взятых семян.

При получении количественных данных эксперименты проводили не менее чем в 4-х повторностях, а полученные результаты статистически обрабатывались [4] и учитывались только те из них, достоверность которых не вызывала сомнений.



Таблица 1. Видовой состав зарегистрированных грибов

№	Название рода	Виды родов
1	<i>Alternaria</i> ,	<i>A.alternata</i> , <i>A.calendula</i> , <i>A.chrysanthemi</i> , <i>A.fici</i> , <i>A.radicina</i> , <i>A.solani</i> , <i>A.tenuissima</i> , <i>A.violae</i>
2	<i>Aspergillus</i> ,	<i>A.awamori</i> , <i>A.candidus</i> , <i>A.flavus</i> , <i>A.fumigatus</i> , <i>A.glaucus</i> , <i>A.mollis</i> , <i>A.nidulans</i> , <i>A.niger</i> , <i>A.ochraceus</i> , <i>A.paraziticus</i> , <i>A.repens</i> , <i>A.terreus</i> , <i>A.ustus</i> , <i>A.versicolor</i>
3	<i>Fusarium</i>	<i>F.avenaceum</i> , <i>F.dimerum</i> , <i>F.gibbosum</i> , <i>F.moniliforme</i> , <i>F.oxysporum</i> , <i>F.sambucinum</i> , <i>F.semitectum</i> , <i>F.solani</i> , <i>F.sporotrichiella</i> , <i>F.sporotrichioides</i> , <i>F.tabacinum</i>
4	<i>Penicillium</i>	<i>P.chrysogenum</i> , <i>P.citrinum</i> , <i>P.citreoviride</i> , <i>P.cyclopium</i> , <i>P.desumbens</i> , <i>P.expansum</i> , <i>P.funiculosum</i> , <i>P.janthinellum</i> , <i>P.lanosum</i> , <i>P.martensii</i> , <i>P.notatum</i> , <i>P.odoratum</i> , <i>P.purpurogenum</i> , <i>P.rubrum</i> , <i>P.simplicissimum</i> , <i>P.variabile</i> , <i>P.variotii</i>

Таблица 2. Фитотоксическая активность видов грибов рода *Alternaria*

№	Название вида	Фитотоксическая активность (по числу непроросших семян%)		
		Пшеница	Фасоль	Горох
1	<i>A.alternata</i>	46	42	43
2	<i>A.calendula</i>	27	29	30
3	<i>A.chrysanthemi</i>	21	23	20
4	<i>A.fici</i>	32	36	34
5	<i>A.radicina</i>	38	35	39
6	<i>A.solani</i>	41	43	45
7	<i>A.tenuissima</i>	39	34	37
8	<i>A.violae</i>	29	26	25

Таблица 3. Фитотоксическая активность видов грибов рода *Aspergillus*

№	Название вида	Фитотоксическая активность (по числу непроросших семян%)		
		Пшеница	Фасоль	Горох
1	<i>A.awamori</i>	32	30	33
2	<i>A.candidus</i>	37	35	39
3	<i>A.flavus</i>	45	42	43
4	<i>A.fumigatus</i>	38	36	37
5	<i>A.glaucus</i>	35	37	36
6	<i>A.mollis</i>	30	29	28
7	<i>A.nidulans</i>	34	32	35
8	<i>A.niger</i>	31	28	30
9	<i>A.ochraceus</i>	24	26	28
10	<i>A.paraziticus</i>	40	41	41
11	<i>A.repens</i>	34	32	35
12	<i>A.terreus</i>	19	20	18
13	<i>A.ustus</i>	19	18	18
14	<i>A.versicolor</i>	21	19	19

Таблица 4. Фитотоксическая активность видов грибов рода *Fusarium*

№	Название вида	Фитотоксическая активность (по числу непроросших семян%)		
		Пшеница	Фасоль	Горох
1	<i>F.avenaceum</i>	49	47	46
2	<i>F.dimerum</i>	27	24	25
3	<i>F.gibbosum</i>	52	50	54
4	<i>F.moniliforme</i>	58	59	57
5	<i>F.oxysporum</i>	57	56	58
6	<i>F.sambucinum</i>	43	42	44
7	<i>F.semitectum</i>	41	40	39
8	<i>F.solani</i>	53	50	49
9	<i>F.sporotrichiella</i>	35	31	33
10	<i>F.sporotrichoides</i>	31	35	30
11	<i>F.tabacinum</i>	36	33	34

Таблица 5. Фитотоксическая активность видов грибов рода *Penicillium*

№	Название вида	Фитотоксическая активность (по числу непроросших семян%)		
		Пшеница	Фасоль	Горох
1	<i>P.chrysogenum</i>	43	45	42
2	<i>P.citrinum</i>	38	39	37
3	<i>P.citreoviride</i>	31	32	33
4	<i>P.cyclopium</i>	43	41	45
5	<i>P.desumbens</i>	18	17	16
6	<i>P.expansum</i>	39	37	36
7	<i>P.funiculosum</i>	35	31	38
8	<i>P.janthinellum</i>	38	36	39
9	<i>P.lanosum</i>	30	33	35
10	<i>P.martensii</i>	31	35	32
11	<i>P.notatum</i>	29	32	35
12	<i>P.odorum</i>	17	18	19
13	<i>P.purpurogenum</i>	21	23	26
14	<i>P.rubrum</i>	18	17	16
15	<i>P.simplicissimum</i>	30	32	34
16	<i>P.variabile</i>	23	25	26
17	<i>P.variotti</i>	27	29	26

### Полученные результаты и их обсуждение

Грибы являются неотъемлемым компонентом гетеротрофного блока любого биотопа с органическим веществом, а поскольку каждый биотоп представляет собой динамическую систему, время от времени необходимо уточнять количественные и качественные

показатели присутствующих там живых организмов, в том числе и грибов. По этой причине считалось целесообразным предварительно оценить видовой состав выбранных в качестве объектов исследования грибных родов. В результате анализа взятых образцов было получено 74 чистых культур настоящих грибов (Mycota). При определении таксономической принадлежности культур было выявлено, что все они относятся к 50

видам (таб. 1). Как видно, 8 из зарегистрированных видов относятся к роду *Alternaria*, 14 — *Aspergillus*, 11 — *Fusarium* и 17 — *Penicillium*, и все они относятся к анаморфам аскомицетных грибов. Кроме того, среди зарегистрированных видов грибов нет ни истинных сапротрофов, ни истинных биотрофов, так как все они получают органическое вещество как из мертвых, так и сохраняющих в той или иной степени жизнеспособность организмов.

Следует отметить, что грибы находятся в различных пищевых отношениях в средах обитания, которые обычно называют экотрофными отношениями, и, как уже упоминалось, все грибы характеризуются в этом аспекте как факультативные или как политрофные виды. Кроме того, в последнее время экотрофические отношения грибов характеризуются по формам проявления экотрофической специализации, и с этой точки зрения грибы делятся на токсигенные, аллергенные и оппортунистические. Среди них токсигены находятся в центре особого внимания и их исследованию уделяется большое внимание. Принимая это во внимание, было сочтено целесообразным изучить зарегистрированные в исследованиях грибы именно в данном аспекте, а точнее на предмет их фитотоксической активности. Результаты проведенных исследований показали, что все зарегистрированные грибы в той или иной степени обладают фитотоксической активностью, но отличаются друг от друга по уровню активности.

Как видно, виды грибов, принадлежащие ко всем отмеченным родам, обладают фитотоксической активностью, причем ее уровень характеризуется как сильная (снижение всхожести семян более 40%), умеренная (снижение всхожести семян более 20%, менее 40%) и слабая (менее 20% восстановления) (таб. 2; 3; 4 и 5). Как видно, относительно этого признака грибы видов *A.flavus*, *F.moniliforme* и др. обладают сильной, *A.repens*, *F.sporotrichiella* и др. — средней, а *A.ustus*, *P.rubrum* и др. — слабой фитотоксической активностью. Что касается распределения по отдельным родам, то, согласно вычислениям, удельный вес видов с выраженной фитотоксической активностью выше у грибов рода *Fusarium*. Так, 58,3% грибов с выраженной фитотоксической активностью (*A.alternata*, *A.flavus*, *A.parasiticus*, *F.avenaceum*, *F.gibbosum*, *F.moniliforme*, *F.oxysporum*, *F.sambucinum*, *F.semitectum*, *F.solani*, *P.chrysogenum* и *P.cyclopium*) относятся к этому роду, а остальные относятся к 3 другим родам (*Alternaria*, *Aspergillus* и *Penicillium*).

При характеристике грибов с сильной фитотоксической активностью по отдельным родам, обнаруживается, что соответствующий таким характеристикам удельный вес принадлежит грибам именно рода *Fusarium*.

Так, 63,6% зарегистрированных в исследованиях грибов рода *Fusarium* обладают сильной и 36,4% средней активностью, а грибы со слабой фитотоксической активностью не были обнаружены. Среди грибов, относящихся к роду *Alternaria*, отсутствуют грибы со слабой фитотоксической активностью, но удельный вес грибов с сильной фитотоксической активностью составляет 25%. Среди грибов, относящихся к роду *Aspergillus*, удельный вес грибов с сильной фитотоксической активностью составляет 14,3%, со средней — 71,4%, со слабой — 14,3%. Хотя в роду *Penicillium* встречаются грибы, относящиеся ко всем трем категориям, удельный вес видов с сильной фитотоксической активностью составляет всего 11,8%, со средней — 70,6%, со слабой — 17,6%.

Что касается количественного показателя фитотоксической активности, характерного для отдельных грибов, то и в данном случае грибы рода *Fusarium* отличаются от других. Так, при уровне фитотоксической активности грибов рода *Fusarium* в пределах 42–58%, аналогичный показатель для родов *Alternaria*, *Aspergillus* и *Penicillium* составляет 41–46%, 40–45% и 41–45% соответственно.

Следует отметить, что влияние естественных почвенно-климатических условий, растительного и животного мира местности на формирование количественных показателей того или иного признака у распространенных здесь грибов подтверждено в ряде исследований [2].

Полученные результаты являются подтверждением этого заключения, но здесь уместным будет отметить то, что в зависимости от вышесказанного характеристика того или иного гриба в целом остается неизменной. Так, в исследованиях, проведенных в различных научных центрах, синтезируемые грибами рода *Fusarium* фитотоксины характеризуются как высоким количеством, так и эффектом воздействия [11, 18, 21]. Поскольку это положение подтвердилось в наших исследованиях, можно отметить, что влияние абиотических и биотических факторов среды на качественное изменение характеристики того или иного гриба по сравнению с количественными показателями довольно слабое.

Таким образом, у выделенных из образцов почв и растений различных биотопов Азербайджана 50 видов грибов, а именно 8 видов *Alternaria*, 14 видов *Aspergillus*, 11 видов *Fusarium* и 17 видов *Penicillium*, оценена фитотоксическая активность и установлено, что у токсических видов, принадлежащих к роду *Fusarium*, выше как удельный вес, так и присущий отдельным видам показатель активности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бахшалиева, К.Ф. Исмаилова, Г.Э., Сафарова А.Ш. и др. Влияние материалов, полученных из некоторых эфиромасличных растений на рост токсигенных грибов//Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки, 2020, № 02, с. 19–23
2. Буданцев, А.Л., Лесиовская, Е.Е. Розмариновая кислота; источники и биологическая активность// Растительные ресурсы, 2012, т. 48, в. 3, с. 453–468.
3. Звягинцев, Д.Г., Бабьева, И.П., Зенова, Г.М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 2005, 447 с.
4. Методы статистической обработки медицинских данных: Методические рекомендации для ординаторов и аспирантов медицинских учебных заведений, научных работников /А.Г. Кочетов, О.В. Лянг, В.П. Масенко, и др. — М.: РКНПК, —2012. —42 с.
5. Методы экспериментальной микологии/Под. ред. Билай В.И. Киев: Наукова думка, 1982, 500с.
6. Монастырский, О.А. Микотоксины-глобальная проблема безопасности продуктов питания и кормов// Агрехимия, 2016, № 6, с.67–71.
7. Нетрусов А.И., Егорова М.А., Захарчук Л.М. и др. Практикум по микробиологии. — М.: Издательский центр «Академия», 2005, 608с.
8. Папуниди, К.Х. Тремасов, М.Я., Фисинин В.И. Микотоксины (в пищевой цепочке) .— Казань: ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», 2017, 158 с.
9. Переведенцева И. Г. Микология: грибы и грибоподобные организмы. СПб.: Издательство «Лань», 2012, 272с.
10. Томашевич, М.А. Формирование патоккомплексов растений при интродукции в Сибири: диссертации д. б.н./-Новосибирск, 2015, с.462
11. Awuchi, C.G., Ondari, E.N., Nwozo, S. et al. Mycotoxins' Toxicological Mechanisms Involving Humans, Livestock and Their Associated Health Concerns: A Review.// Toxins, 2022, 14 (3):167. <https://doi.org/10.3390/toxins14030167>
12. Bakshaliyeva, K.F., Namazov, N.R., Jabrailzade, S.M. et al. Ecophysiological Features of Toxicogenic Fungi Prevalent in Different Biotopes of Azerbaijan // Biointerface Research in Applied Chemistry (Romania), 2020, v.10, is. 6, p. 6773–6782.
13. Bennett J.W., Klich M. Mycotoxins.//Clin Microbiol Rev., 200, v.16 (3), p.497–516
14. Basic searching on MycoBank <http://www.mycobank.org/MycoTaxo.aspx>
15. Janik, E, Niemcewicz, M, Ceremuga, M. et al. Molecular Aspects of Mycotoxins — A Serious Problem for Human Health. International Journal of Molecular Sciences. 2020; 21 (21):8187. <https://doi.org/10.3390/ijms21218187>
16. Janowski, D., Leski, T. Factors in the Distribution of Mycorrhizal and Soil Fungi.// Diversity, 2022, 14, 1122. <https://doi.org/10.3390/d14121122>
17. Kirk, P.M. et al. Dictionary of the fungi, 10th edn. CABI publishing. Wallingford (UK), 2008, 600 p.
18. Munkvold, G.P. Fusarium Species and Their Associated Mycotoxins.//Methods Mol Biol. 2017, v.1542, p.51–106.
19. Namazov N.R., Safarova, A. Sh., Bakshaliyeva, K.F., Muradov, P.Z. Dependence Bactericidal and Fungicidal Activities from Component Composition of Essential Oils Obtained from some Essential Oil Plants // Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci., 2018, № 7 (12), p. 2406–2410.
20. Naranjo-Ortiz, M.A., Gabaldón, T. Fungal evolution: diversity, taxonomy and phylogeny of the Fungi//Biological reviews, 2019. v.94, iss.6, p.2101–2137
21. Sandulachi, E., Ghendov-Mosan, A., Cojocari, D. and Sturza, R. (2021) The Risk of Fusarium and Their Mycotoxins in the Food Chain.//Advances in Microbiology, 2021, v.11, p.541–553.
22. Seifert, K.A. The genera of Hyphomycetes. Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, 2011. —997 p.

© Бахшалиева Конуль Фаррух ( konul.baxsh@mail.ru ), Гусейнова Гульнар Назим ( gulnarefeyzullayeva0707@gmail.com ),  
Гудратова Фидан Рагим ( fqudretova@gmail.com ), Мохоммади Сумая Давут Мохамад ( sumimohammadi0104@gmail.com ),  
Эфенди Ульвия Ариф ( azmbi@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНОВ PINUS SYLVESTRIS L. В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

## CHANGING THE PARAMETERS OF GENERATIVE ORGANS PINUS SYLVESTRIS L. IN CONDITIONS OF TECHNOGENIC POLLUTION

V. Drozhzhina

*Summary.* Under conditions of environmental pollution by emissions of man-made origin of various genesis, a change in the parameters of generative organs is observed in *Pinus sylvestris* L. These changes depend on the level of pollution and can be used as diagnostic signs for monitoring the condition of areas exposed to pollutants.

*Keywords:* air bag, female cone, conostrobil, contact parastichs, microsporophyll, microstrobil, male cone, palinoidication, pollen grain, seed scales, scots pine, terat, exina.

**Дрожжина Вероника Николаевна**

Доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет»  
o.drozhzhin@gmail.com

*Аннотация.* В условиях загрязнения окружающей среды выбросами техногенного происхождения различного генеза наблюдается изменение параметров генеративных органов у *Pinus sylvestris* L. Эти изменения зависят от уровня загрязнения и могут быть использованы в качестве диагностических признаков для мониторинга состояния территорий, подверженных воздействию поллютантов.

*Ключевые слова:* воздушный мешок, женская шишка, коностробил, контактные парастихи, микроспорофилл, микростробил, мужская шишка, палиноиндикация, пыльцевое зерно, семенная чешуя, сосна обыкновенная, терат, экзина.

**В**ыбросы промышленных предприятий и автотранспорта негативно воздействуют на вегетативные и генеративные органы *Pinus sylvestris* L. Нарушения в репродуктивной сфере наблюдаются в изменении морфометрических параметров стробиллов, нарушении процессов спорогенеза и гаметогенеза, жизнеспособности пыльцы, количестве и качестве семян [1, 2, 3]. Негативное воздействие оказывают крупные промышленные комплексы, а также хроническое умеренное загрязнение небольших предприятий. Целью работы было проанализировать показатели генеративных органов сосны обыкновенной в условиях умеренного загрязнения на территории Эртильского района Воронежской области и выявить признаки наиболее показательные для использования в целях мониторинга загрязнения.

Исследования проводились в Эртильском районе Воронежской области в 2018–2020 гг. На территории района были заложены 7 пробных площадок (ПП), в зонах с разным уровнем загрязнения. Древостой на площадках смешанный искусственного происхождения. Возраст модельных деревьев составляет около 30–40 лет.

Пробная площадка номер один заложена на территории села Щучинские пески Эртильского района Воронежской области, находящаяся на расстоянии 25 км

от техногенных источников загрязнения. Визуальная оценка жизненного состояния популяции позволила определить её как здоровую.

Вторая и третья пробные площадки заложены в городе Эртиль вблизи МКОУ «Соколовская СОШ» (по улице Комарова). Площадки расположены на расстоянии 3 км от предприятий: ОАО «Завод растительных масел Эртильский», ОАО «Литейно-механический завод», ОАО «Эртильское АТП».

Четвёртая и пятая пробные площадки заложены в городе Эртиль. Площадки находятся в непосредственной близости от предприятий ОАО «Эртильский сахар», ОАО «Эртильский литейно-механический завод», МУП «Эртильское коммунальное хозяйство» и ОАО «Эртильский АТП».

Шестая площадка находится в лесном массиве урочище Шелюга вдоль трассы «Курск-Борисоглебск-Панино-Эртиль». Лесной массив располагается вдоль автотрассы на удалении 10 метров от полотна дороги, но находится на большом расстоянии (25 км) от воздействия предприятий Эртильского района.

Седьмая площадка заложена в условно чистой зоне на территории села Борщевские Пески Эртильского района Воронежской области, на расстоянии 30 км

Таблица 1. Морфометрические показатели микростробиллов *Pinus sylvestris* L.

№ ПП	Длина микростробила, мм	Диаметр микростробила, мм	Количество микростробиллов в собрании	Количество микроспорофиллов, шт.
1	18,8±0,11	8,9±0,08	19,3±0,98	30,1±0,31
2	17,8±0,09	8,0±0,04	17,4±0,66	27,9±0,29
3	17,5±0,08	7,4±0,10	17,3±0,56	29,5±0,27
4	14,0±0,12*	6,8±0,09*	16,7±0,89	23,7±0,25*
5	13,0±0,15*	6,2±0,09*	16,8±0,75	23,7±0,24*
6	13,4±0,16*	6,4±0,12*	15,6±0,29	25,4±0,29*
7	18,4±0,19	9,3±0,09	20,3±0,22	33,5±0,32

\* — достоверно по отношению к контролю

от техногенного давления предприятий. Состав древо-стоя на пробной площадке однородный, лесонасаждение естественное.

На каждой пробной площадке выбирались одно-возрастные модельные деревья *Pinus sylvestris* L. Материалом для исследования послужили генеративные органы, собранные с деревьев, произрастающих в указанных зонах.

Анализировались женские и мужские шишки сосны. Сбор урожая женских шишек (макростробиллов) проводился во второй декаде марта до начала естественного выпадения семян согласно срокам сбора, рекомендованным для данного вида. Сбор урожая мужских шишек (микростробиллов) проводился в июне, согласно стандартным ботаническим методикам. Морфометрические параметры шишек измерялись штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Общее количество семенных чешуй, количество семенных чешуй фертильного яруса и количество левозакрученных и правозакрученных парастих в женских шишках определяли прямым подсчетом. Мужские шишки подвергали гербаризации и консервации в 40% этиловом спирте для дальнейшего исследования. Пыльцу исследовали под микроскопом приготавливая временные препараты, определяли размеры микроспор и вычленили аномально развитые пыльцевые зерна. В работе использовался тринокулярный микроскоп Levenhuk MED 20T и окулярная видеокамера Levenhuk M 35 BASE.

Статистическая обработка результатов выполнена с использованием пакета анализа данных Microsoft Excel 2010. Обоснование существенности различий исследуемых параметров выполнено с использованием параметрических тестов (критерий Стьюдента).

Мужская генеративная сфера сосны представлена мужскими шишками или микростробилами. Длина их колеблется от 13 до 18 мм, диаметр от 6 до 9 мм. В со-

став микростробила входят микроспорофиллы в количестве от 23 до 33 штук, на нижней стороне которых расположены микроспорангии с микроспорами. Для анализа отбирались желтопыльниковые формы сосны, которые являются преобладающими на исследуемых территориях, по сравнению с краснопыльниковыми формами. Известно, что морфометрические показатели микростробиллов этих двух форм отличаются друг от друга, так же, как и показатели их микроспор. Микростробиллы старались собирать с деревьев с мужской сексуализацией, чтобы максимально усреднить показатели выборки [4, 5].

В условиях 4, 5, 6 пробных площадок наблюдалось достоверное уменьшение линейных параметров микростробиллов. На 2 и 3 пробной площадке достоверных изменений эти показатели не дают. Количество микроспорофиллов в среднем уменьшается на загрязненных площадях, но отличается очень большим коэффициентом вариации, можно предположить, что этот признак не такой информативный. Так же уменьшается в среднем количество микростробиллов в собрании мужских шишек, но существует значительный разброс между минимальными и максимальными показателями этого признака в пределах одной площадки (табл. 1).

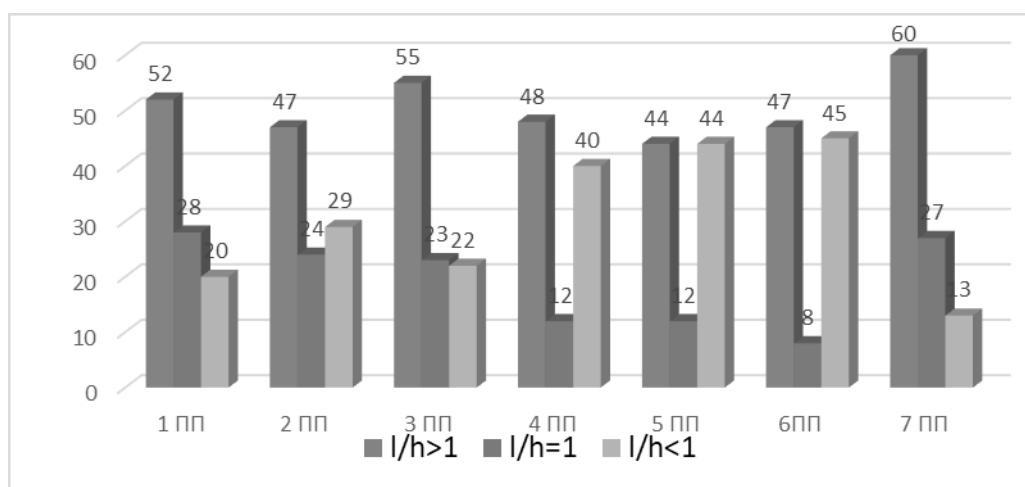
При изучении пыльцевых зерен мы обратили внимание на палиноиндикацию, то есть на морфометрические параметры пыльцевых зерен. Типичные пыльцевые зерна имеют строение, описанное в целом ряде работ. Для оценки их аномальности чаще других используют следующие показатели: параметры тела пыльцевого зерна (длину и высоту); параметры воздушных мешков (ширину и длину), наличие воздушных мешков и их развитие; форму пыльцевых зерен [6, 7, 8].

Зерна, имеющие необычную форму называют тератами. Определенное количество таких тератных зерен присутствует на всех пробных площадках, но процент аномалий невелик, обычно он не превышает 2–3%.

Таблица 2. Морфометрические параметры пыльцевых зерен *Pinus sylvestris* L.

№ ПП	Длина тела пыльцевого зерна, мкм	Высота тела пыльцевого зерна, мкм	Длина воздушного мешка, мкм	Высота воздушного мешка, мкм
1	42,3±0,54	40,1±0,98	33,2±0,40	31,2±0,43
2	41,9±0,43	41,2±0,76	30,7±0,38	33,2±0,34
3	42,0±0,44	41,2±0,49	28,7±0,31	28,5±0,47
4	40,1±0,52	40,9±0,77	27,5±0,34	28,3±0,36*
5	39,5±0,34	39,2±0,65	25,8±0,52*	29,8±0,87
6	39,0±0,33	40,1±0,98	23,4±0,48*	26,7±0,53*
7	42,2±0,47	39,3±0,67	35,3±0,39	33,6±0,43

\* — достоверно по отношению к контролю

Рис 1. Процент пыльцевых зерен *Pinus sylvestris* L. с различными коэффициентами формы тела

В условиях загрязнения количество может возрастать до 30%, что наблюдается на 6 ПП. Среди наиболее часто встречающихся аномалий можно отметить следующие. Тело пыльцевого зерна имеет длину значительно превышающую высоту, примерно в 2–2,5 раза. Из-за этого зерно кажется приплюснутым, воздушные мешки, которые в норме сближены на дистальной стороне сдвигаются в стороны. Форма зерна может меняться с округлой на полукруглую или подковообразную. Выгнутой становится дистальная сторона, а проксимальная еще более выпуклой. Небольшой процент из всех аномальных зерен практически не имеет воздушных мешков. На их месте видны небольшие вздутия экзины, которые имеют как бы смятую форму. Могут наблюдаться не типичные выросты на самом теле зерна или на пыльцевом мешке. Более частый процент аномалий в развитии воздушных мешков проявляется в недоразвитии одного из мешков. При этом второй может быть либо нормального размера, либо он будет очень маленьким, либо напротив несоразмерно большим. Воздушные мешки могут проявлять тенденцию к срастанию и тогда пыльцевое зерно как бы окружено разросшейся эк-

зиной. Встречались одиночные зерна с удвоением количества воздушных мешков, либо их наблюдалось 3. В условиях загрязнения могут наблюдаться аномально мелкие или наоборот гигантские пыльцевые зерна [9, 10, 11, 12].

Размеры пыльцевого зерна таковы, что длина и высота примерно одинаковы, но в большинстве случаев длина превосходит несколько ширину и соотношение между этими показателями больше единицы. Высота тела пыльцевого зерна колеблется в пределах от 32 до 42 мкм, длина тела в пределах от 39 до 43 мкм. Средние размеры тела пыльцевых зерен изменяются на пробных площадках незначительно несмотря на то, что как мы уже указывали встречаются зерна с аномально маленькими параметрами и с аномально большими. Достоверные отличия в параметрах по сравнению с контролем отмечены на 6 ПП подверженной воздействию выбросов автотранспорта. Размеры зерен в среднем уменьшаются. Параметры воздушных мешков показывают, что высота мешков колеблется в пределах от 26 до 33 мкм. Длина воздушных мешков изме-

Таблица 3. Количество шишек *Pinus sylvestris* L.c разным соотношением парастих (в %)

№ ПП	Соотношение парастих									
	5/8	8/5	8/13	13/8	2/3	3/5	3/8	8/3	2/6	6/2
1	34	37	12	13	2	2	-	-	-	-
2	45	45	1	1	3	5	-	-	-	-
3	40	36	9	9	3	1	-	1	1	-
4	31	37	3	7	8	9	-	-	1	4
5	35	31	8	7	5	5	3	2	2	4
6	33	33	6	6	5	7	2	2	3	3
7	41	34	12	11	-	2	-	-	-	-

няется от 23 до 35 мкм, чаще всего длина превосходит высоту (табл. 2).

Кроме линейных промеров тела пыльцевого зерна нами были вычислены коэффициенты соотношения длины к высоте пыльцевого зерна. Эти данные показывают, что во всех случаях преобладает коэффициент больше 1. Однако в условиях загрязнения повышается доля пыльцевых зерен с изменением этого коэффициента в сторону уменьшения. Есть определенный процент зерен, где коэффициент равен единице. То есть под воздействием поллютантов увеличивается высота тела пыльцевого зерна. На 5 и 6 ПП процент пыльцевых зерен, у которых высота превышает длину увеличивается с 13% до 45% (рис. 1). На 4, 5, 6 ПП параллельно с увеличением процента пыльцевых зерен с большей высотой тела, уменьшается процент пыльцевых зерен, где это соотношение равно единице.

Наибольшее количество пыльцевых зерен с практически округлой формой наблюдается на 1 и 7 ПП — 28%, чуть меньшее количество — 23% на 2 и 3 ПП. Подобные изменения позволяют сделать вывод, что информативными признаками являются не только и не столько линейные размеры, а коэффициенты соотношения этих размеров, которые позволяют характеризовать форму тела пыльцевых зерен и выделять в последующем различные палиноморфы, характеризующие тот или иной уровень загрязнения.

Женская шишка представляет собой более сложное образование, чем мужская это констробил. В каждом констробиле есть ось шишки семенные и кроющие чешуи, которые срастаются друг с другом. Закладываются чешуи в определенном порядке по такому же принципу, что идет закладка листьев, то есть согласно законам филотаксиса, а это значит, что процесс заложения чешуй строго контролируется генетически. В одной шишке есть левозакрученные спирали и правозакрученные спирали, называемые контактными парастихами. Количество парастих строго определено для конкретной шишки и число правозакрученных соотносится с чис-

лом левозакрученных как числа Фибоначи в известной математической последовательности. В шишке сосны такие числа чаще всего равны 5, 8 и 13 и соответствуют количеству левых и правых парастих. Есть шишки с преобладанием правозакрученных спиралей, а есть — левозакрученных. Они будут соответственно называться правозакрученными или левозакрученными. В норме количество таких шишек примерно одинаково и сосну можно назвать изомерным или рацемическим видом.

Исследование большого количества женских шишек показало, что пропорции могут нарушаться, также, как и числа в последовательности перестают сохранять свой порядок, а, следовательно, нарушается соотношение между ними которое должно сохраняться постоянным равным 1,6. Изменение будет говорить о нарушении симметричности органа. Асимметрия давно используется в целях диагностики изменения условий существования как растительных, так и животных организмов.

Нами были проанализированы женские шишки на предмет определения количества парастих, количества право- и левозакрученных шишек, количества аномально развитых шишек.

Чаще всего у сосны обыкновенной встречаются шишки с количеством парастих 5/8 и 8/5. Крупные хорошо развитые шишки имеют числа парастих 8/13 и 13/8 соответственно. Соотношение между изомерами с этими показателями 1:1. В условиях загрязнения появляются шишки с меньшим количеством парастих, но укладывающихся в последовательность Фибоначи. Такие шишки считаются недоразвитыми и часто не несут семян, либо количество семян незначительно. Количество парастих в таких шишках 2/3 и 3/5, на долю таких шишек приходится 10%. Встречаются шишки меньшего размера на всех пробных площадках, в зоне интенсивного загрязнения их количество достоверно повышается. На 4, 5, 6 площадках появляются шишки с количеством парастих не укладывающихся в ряд Фибоначи, это шишки 3/8, 8/3, 2/6, 6/2. Форма таких шишек непра-



Таблица 4. Морфометрические показатели женских шишек *Pinus sylvestris* L.

№ ПП	Вес, гр	Длина, см	Ширина, см	Длина/ширина	Количество семенных чешуй, шт.	Количество фертильных чешуй, шт.
1	9,0±0,30	4,4±0,06	3,8±0,04	1,16	50,0±0,43	20,6±0,19
2	7,3±0,11	4,1±0,02	3,8±0,08	1,08	45,5±0,42	18,6±0,20
3	7,0±0,11	4,1±0,04	3,7±0,15	1,11	46,7±0,35	19,0±0,18
4	6,9±0,24*	3,8±0,04*	3,4±0,07	1,12	43,3±0,45*	18,2±0,18*
5	6,5±0,11*	3,7±0,03	3,2±0,05*	1,16	44,5±0,38*	17,8±0,19*
6	8,6±0,16	4,2±0,04	3,6±0,05	1,17	49,8±0,42	19,0±0,19
7	8,7±0,30	4,4±0,07	3,8±0,10	1,16	50,7±0,48	21,4±0,16

\* — достоверно по отношению к контролю

вильная, они часто однобокие или несколько согнутые, причем раскрываются такие шишки не полностью, сторона на которой находится меньшее количество парастих, обычно засмолена и не открывается, обнаружить там семена не удалось. Длина и ширина таких шишек значительно уменьшаются. Процент аномально развитых шишек составляет около 7–10% и в целом на 4–6 пробных площадях встречается до 20% аномально развитых шишек (табл. 3).

Кроме количества парастих было проанализировано количество шишек и их линейные параметры, длина, ширина и соотношение этих величин, а также вес шишек с разных пробных площадок. Количество женских шишек показывает их значительное сокращение — в 1,5 раза в зоне загрязнения по сравнению с контролем.

Размеры шишек колеблются в фоновых условиях от 3 до 5 см в длину и от 3 до 6 см в ширину. Шишки, длина которых превышает 48 мм относятся к группе крупных шишек, надо отметить, что количество таких шишек на пробных площадях единичное и на 4–6 пробных площадках они не встречаются. Размер шишек на исследуемых участках можно оценить, как средний от 40 до 44 мм, ниже среднего показатели отмечены для 4 и 5 ПП. Мелкие шишки, размеры которых не превышают 36 мм встречаются штучно, они отмечены для всех пробных площадок, но в зоне воздействия поллютантов их количество возрастает.

Размеры шишек коррелируют с количеством семенных чешуй в целом и с количеством фертильных семенных чешуй, в частности. Следовательно, размеры шишек скажутся и на количестве семян, формируемых шишкой. Фертильные чешуи находятся в среднем яру-

се шишки и могут нести 1 или 2 семени. Крупные шишки могут нести 82 и более семенных чешуй, в средних шишках количество чешуй 68–75, и мелкие шишки несут около 60 семенных чешуй и меньше. Количество семенных чешуй в исследуемых шишках от 43 до 50 шт. в среднем, однако для каждой шишки, в зависимости от ее размеров эти показатели индивидуальны. Количество чешуй фертильного яруса колеблется от 17 до 21 штуки, что составляет примерно 40% от общего количества семенных чешуй [13, 14].

Если посмотреть на коэффициент соотношения длины к ширине, то можно выделить группы шишек по степени их удлинненности. Группа шишек с примерно одинаковыми параметрами, и группа с преобладанием длины над шириной (табл. 4). Шишки, коэффициент формы которых колеблется от 2,5 до 3 называются продолговатыми, широкие шишки имеют коэффициент равный 2–2,5, яйцевидные шишки имеют коэффициент 1,5–2 и шаровидные шишки характеризуются коэффициентом формы 1–1,5.

Средние показатели коэффициента формы женских шишек свидетельствуют о преобладании шаровидной формы шишек на всех пробных площадках.

Вес шишек колеблется от 7 до 9 гр., в условиях загрязнения уменьшаются линейные размеры шишек и, следовательно, их масса. Вес шишек сокращается на 20–30%. Усредненные показатели длины и ширины по каждой пробной площадке примерно одинаковые, также незначительно варьирует коэффициент соотношения длины к ширине женской шишки. Однако если обратить внимание на количество шишек с разными коэффициентами удлинненности, то можно отметить, что под воздействием загрязнителей увеличивается

доля шишек с преобладанием длины над шириной, в условиях низкого уровня загрязнения преобладают шишки с примерно одинаковыми параметрами. Количество семенных чешуй в шишках зависит от ее линейных параметров и особенно от ширины шишки.

Показатели генеративной сферы сосны обыкновенной изменяются в условиях антропогенного загрязнения. Морфометрические параметры мужской шишки длина и диаметр уменьшаются, уменьшается количество микростробиллов в собрании и количество микроспорифиллов в шишке. Последние показатели имеют большой коэффициент вариации. Микроспоры демонстрируют изменение показателей тела и воздушных мешков в сторону уменьшения в условиях загрязнения, но наиболее информативными являются коэффициенты соотношения длины тела пыльцевого зерна к высоте. В загрязненной зоне увеличивается количество пыльцевых зерен, где коэффициент становится меньше единицы, что свидетельствует о нарушениях в форме

пыльцевых зерен (увеличивается высота). Количество аномальных пыльцевых зерен достигает 30%-40%, аномалии выражаются в недоразвитии пыльцевых мешков, увеличении их количества до 3–4, изменении формы тела до подковообразной или сплюснутой.

Линейные параметры женских шишек в условиях загрязнения сокращаются, уменьшается масса шишек, количество чешуй и, следовательно, количество семян, форма шишки становится более вытянутой. Появляется большой процент женских шишек с нарушениями в заложении парастих. Кроме стандартного варианта с количеством правозакрученных и левозакрученных парастих 5/8 и 8/5 до 20% шишек имеют соотношения 2/6 и 6/2. Нарушение в заложении парастих приводит к изменению формы шишек, они становятся искривленными и однобокими. Таким образом изменения в генеративной сфере *Pinus sylvestris* проявляются как на количественном, так и на качественном уровне.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Носкова Н.Е., Третьякова И.Н., Носков Е.А. Особенности формирования мужской генеративной сферы сосны обыкновенной в условиях техногенеза // Хвойные бореальной зоны. — 2006. — Т. XXIII. — № 2. — С. 211–214.
2. Носкова Н.Е., Третьякова И.Н. Репродукция сосны обыкновенной в условиях глобального изменения климата и стратегические пути сохранения вида // Хвойные бореальной зоны. — 2011. — Т. XXVIII. — № 1–2. — С. 41–46.
3. Махнёва С.Г., Мохначёв П.Е., Меншиков С.Л. Особенности репродукции сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях загрязнения магнетитовой пылью // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2013. — № 3 — С. 8–9.
4. Седельникова Т.С., Пименов А.В., Ефремов С.П. Морфология пыльцы сосны обыкновенной на болотах и суходолах // Лесоведение. — 2004. — № 6. — С. 58–75.
5. Седельникова Т.С., Пименов А.В., Ефремов С.П., Муратова Е.Н. Особенности генеративной сферы сосны обыкновенной болотных и суходольных популяций // Лесоведение. — 2007. — № 4. — С. 44–50.
6. Дзюба О.Ф. Естественный полиморфизм пыльцы *Pinus sylvestris* L. в связи с некоторыми проблемами палеопалинологии // Современные проблемы палеофлористики, палеофитогеографии и фитостратиграфии. Третья международная палеоботаническая конференция. — Москва. — 2005. — С. 84–88.
7. Дзюба О.Ф. О естественном полиморфизме пыльцы *Pinus sylvestris* в связи с некоторыми проблемами палеопалинологии // Материалы XI Всероссийской палинологической конференции «Палинология: теория и практика». — Москва. — 2005. — С. 115–118.
8. Дзюба О.Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды. — Санкт-Петербург: Недра, 2006. — 197 с.
9. Тупицын С.С. Мужская генеративная сфера сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в разных экологических условиях (обзор) // АгроЭкоИнфо. — 2015, № 6. [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2015/6/st\\_30.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2015/6/st_30.doc).
10. Третьякова И.Н., Носкова Н.Е. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса // Экология. — 2004. — № 1. — С. 26–33.
11. Ибрагимова Э.Э. Индикация загрязнения окружающей среды в урбанизированных экосистемах с использованием пыльцы *Pinus sylvestris* L. // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Сер. «Биология и химия». — 2009. — Т. 22 (61). — № 4. — С. 54–65.
12. Коршиков И.И. Качество пыльцы сосны обыкновенной и цитогенетические изменения у ее семенного потомства как показателя влияния техногенно загрязненной среды Криворожья // Сибирский экологический журнал. — 2015. — № 2 — С. 310–317.
13. Вахнина И.Л., Макаров В.П. Морфобиологическая характеристика генеративных органов сосны в природно-техногенных условиях (Восточное Забайкалье) // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. — 2014. — Т. 18. — № 5. — С. 20–25.
14. Вахнина И.Л. Изменчивость генеративных параметров *Pinus sylvestris* L. в условиях городского загрязнения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2014. — № 9. — С. 109–112.

# РЕГУЛЯЦИЯ ДОФАМИНОМ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЛИНИЙ CAENORHABDITIS ELEGANS N2 И CB1112 (CAT-2 (E1112) II) К ТОКСИЧЕСКОМУ ДЕЙСТВИЮ НИТРАТА СВИНЦА

## DOPAMINE REGULATES SENSITIVITY OF CAENORHABDITIS ELEGANS N2 AND CB1112 (CAT-2 (E1112) II) STRAINS TO TOXIC ACTION OF LEAD NITRATE

A. Egorova  
A. Gatiyatullina  
T. Kalinnikova

*Summary.* Toxic action of Pb<sup>2+</sup> ions on two *C. elegans* strains, namely wild type N2 strain and CB1112 (cat-2 (e1112) II) strain which is lack of endogenous dopamine was investigated. Low sensitivity of cat-2 strain nematodes to toxic action of lead nitrate in the concentration range 0.25–1.0 mM in comparison with such of N2 strain made it possible to assume that the target of negative effects of lead nitrate on *C. elegans* organism is dopaminergic system. The most likely mechanism of disturbances of dopaminergic system functions by Pb<sup>2+</sup> ions may be a disturbance of dopamine synthesis by dopaminergic neurons. This assumption is verified by the repair of the ability to swimming of N2 strain nematodes under joint action of lead nitrate and dopamine. The absence of therapeutic dopamine effect on locomotion of nematodes of cat-2 strain disturbed by lead nitrate may be associated with specific functioning of neuronal circuit, which regulates *C. elegans* locomotion, in the absence of dopamine.

*Keywords:* *Caenorhabditis elegans*, lead ions, dopamine, neurotoxicity, behavior.

**Егорова Анастасия Васильевна**

Младший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, г. Казань  
egorovanastassia@gmail.com

**Гатиятуллина Алсу Фоатовна**

Младший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, г. Казань  
gaf9212@gmail.com

**Калинникова Татьяна Борисовна**

Кандидат биологических наук, зав. лабораторией, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, г. Казань  
tbkalinnikova@gmail.com

*Аннотация.* Исследовано токсическое действие ионов Pb<sup>2+</sup> на *C. elegans* двух линий: линии дикого типа N2 и линии и CB1112 (cat-2 (e1112) II), у которой отсутствует эндогенный дофамин. Низкая, по сравнению с линией N2, чувствительность нематод линии cat-2 к токсическому действию нитрата свинца в концентрации 0.25–1.0 mM позволила предположить, что мишенью негативного действия свинца на организм *C. elegans* является дофаминергическая система. Наиболее вероятным механизмом нарушения функций дофаминергической системы ионами Pb<sup>2+</sup> может быть нарушение синтеза дофамина дофаминергическими нейронами. В пользу этого предположения свидетельствует восстановление способности нематод линии дикого типа N2 к плаванию при совместном действии нитрата свинца и дофамина. Отсутствие терапевтического действия дофамина на локомоцию нематод линии cat-2, нарушенную нитратом свинца, может быть связано с особенностями функционирования нейронной сети, регулирующей локомоцию, в отсутствие дофамина.

*Ключевые слова:* *Caenorhabditis elegans*, ионы свинца, дофамин, нейротоксичность, поведение.

## Введение

Одним из распространенных загрязнителей окружающей среды является свинец. Токсическое действие свинца на организмы человека и животных во многом определяется его способностью замещать двухвалентные катионы (Ca<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> и другие) в биологических молекулах [1–3]. Известно, что ионы Pb<sup>2+</sup> способны вызывать окислительный стресс, нарушать синтез гема и оказывать токсическое действие на нервную систему [3–5]. Нейротоксическое дей-

ствие свинца в настоящее время активно изучается. Свинец нарушает ГАМКергическую, холинергическую и дофаминергическую синаптическую трансмиссию [2, 5]. В концентрации 10 мкг/100 мл крови свинец вызывает нарушения когнитивных и моторных функций у детей и взрослых [5–6]. Токсическое действие ионов Pb<sup>2+</sup> на нервную систему во многом сходно с действием ионов Mn<sup>2+</sup>. Механизмом нейротоксического марганца является дегенерация дофаминергических нейронов [7–9]. Сходство нарушений функций нервной системы, вызванных свинцом и марганцем, позволяет

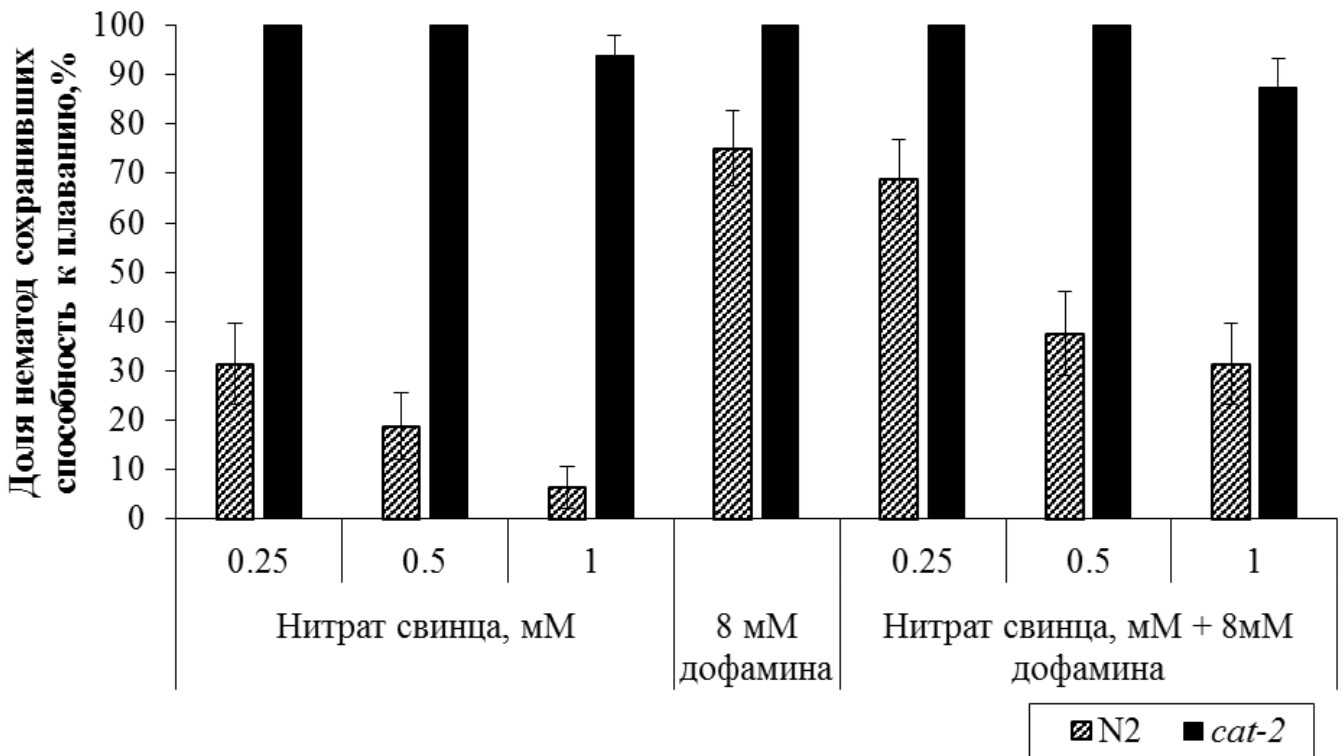


Рис. 1. Доля нематод, сохранивших способность к плаванию после 30-минутной инкубации с нитратом свинца и/или дофамином

предположить, что одним из механизмов нейротоксического действия ионов  $Pb^{2+}$  является нарушение функций дофаминергической системы. Целью настоящей работы явилась экспериментальная проверка этой гипотезы с использованием в качестве модельного организма свободноживущей почвенной нематоды *Caenorhabditis elegans*. *C. elegans* на протяжении нескольких десятилетий используется в биологических, в том числе токсикологических исследованиях благодаря простоте строения тела и удобству выращивания в лаборатории. Нервная система *C. elegans*, состоящая всего из 302 нейронов, хорошо изучена методами молекулярной и клеточной биологии [10–11].

#### Материалы и методы исследования

В экспериментах использовали молодых половозрелых *Caenorhabditis elegans* двух линий: линии дикого типа N2 и CB1112 (*cat-2 (e1112) II*). Обе линии были получены из *Caenorhabditis Genetics Center*. У нематод линии *cat-2* отсутствует фермент тирозингидроксилаза — ключевой фермент синтеза дофамина [1, 12].

Нематод выращивали при 22 °C в стеклянных чашках Петри диаметром 10 см на стандартной среде выращивания нематод (3 г/л NaCl, 17 г/л бактоагар, 2.5 г/л бак-

топептон, 5 мг/л холестерин, 1 мМ  $CaCl_2$ , 1 мМ  $MgSO_4$ , 25 мМ калийфосфатный буфер (pH 6.0)) [10]. Для кормления нематод использовали *E. coli* OP50 [10]. Эксперименты проводили в NG буфере (pH 7.0), состав которого соответствует составу среды выращивания нематод, из которой исключены агар, пептон и холестерин [10]. При подготовке эксперимента нематод переносили с поверхности агара в стеклянную центрифужную пробирку объемом 10 мл и дважды отмывали 10 мл NG буфера от агара, бактерий и экзосметаболитов. В третий раз *C. elegans* отмывали 10 мл 85 мМ NaCl.

Все эксперименты проводили при 22 °C с нематодами, инкубированными индивидуально в стеклянных стаканчиках с нитратом свинца, дофамином и NG буфером. Конечный объем среды инкубации — 1 мл. Критерием действия химических веществ служила способность нематод поддерживать спонтанную локомоцию. Поведение нематод фиксировали каждые 30 минут с использованием стереоскопического микроскопа SMZ-05. Эксперименты проводили в четырех повторностях, для каждой концентрации свинца и в контрольном варианте использовали 30 нематод.

Статистическую обработку проводили с использованием углового преобразования Фишера  $\phi^*$ .

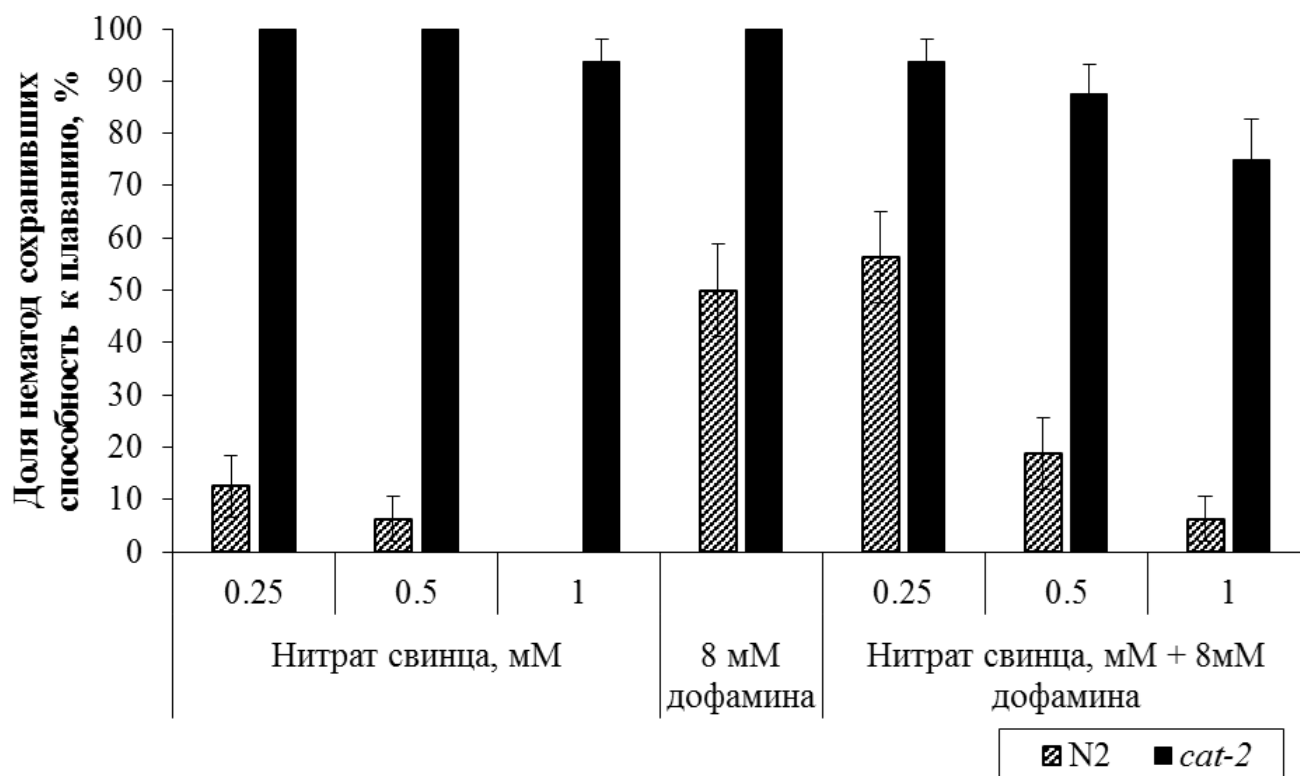


Рис. 2. Доля нематод, сохранивших способность к плаванию после 60-минутной инкубации с нитратом свинца и/или дофамином

## Результаты и обсуждение

Для выяснения возможности участия дофаминергической системы в модуляции чувствительности к ионам свинца были проведены эксперименты по совместному действию дофамина и  $Pb(NO_3)_2$  на *C. elegans* двух линий — линии дикого типа N2 и линии CB1112 (*cat-2(e1112) II*) с мутацией гена *cat-2*, кодирующего ключевой фермент синтеза дофамина тирозингидроксилазу.

Введение в среду инкубации дофамина в концентрации 8 мМ уже через 30 минут приводило к потере способности к плаванию у 25% нематод линии N2 (рис. 1). При увеличении времени экспозиции до 120 минут спонтанная локомоция сохранялась у 37.5% *C. elegans* этой линии (рис. 4). Нитрат свинца в концентрации 0.25, 0.5 и 1 мМ вызывал снижение доли нематод, сохранивших спонтанную локомоцию. Негативное действие  $Pb(NO_3)_2$  на поведение нематод усиливалось при увеличении концентрации и времени экспозиции к нему (рис. 1–4). Добавление в среду инкубации 8 мМ дофамина ослабляло негативное действие нитрата свинца на спонтанную локомоцию нематод линии N2. Это проявлялось в увеличении доли нематод, способных к плаванию (рис. 1–4).

*C. elegans* линии *cat-2* были менее чувствительны как к дофамину, так и к нитрату свинца. При инкубации в среде с 8 мМ дофамина все нематоды этой линии сохраняли спонтанную локомоцию в течение 60 минут. В последующие 60 минут доля нематод, сохранивших способность к плаванию, уменьшилась незначительно (рис. 1–4).  $Pb(NO_3)_2$  в концентрации 0.25 мМ не оказывал токсического действия на поведение *C. elegans* линии *cat-2*. Нитрат свинца в концентрации 0.5 мМ вызывал потерю способности к плаванию у части нематод этой линии только после 90-минутной экспозиции к нему. В концентрации 1 мМ нитрат свинца не вызывал значительных нарушений поведения в первые 60 минут экспозиции; достоверное уменьшение доли нематод, сохранивших способность к плаванию, наблюдалось через 90 и 120 минут. Добавление в среду инкубации 8 мМ дофамина не оказывало терапевтического действия на поведение *C. elegans* линии *cat-2* (рис. 1–4).

Ионы свинца оказывают негативное действие на локомоцию, развитие, продолжительность жизни и способность к обучению *C. elegans*. Ионы свинца могут вызывать нарушения локомоции нематод и их способность к термотаксису [11, 13–14]. В этой работе показана низкая, по сравнению с *C. elegans* линии N2, чувствительность спонтанной локомоции нематод

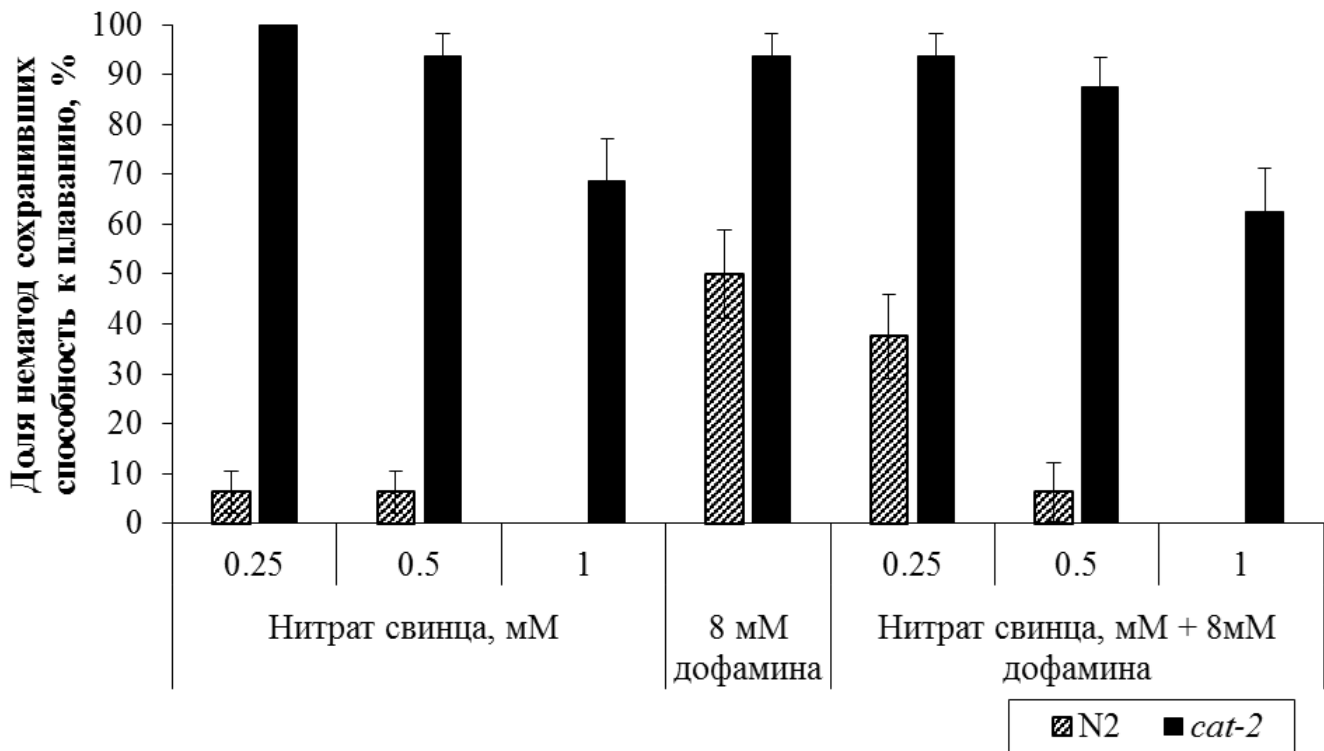


Рис. 3. Доля нематод, сохранивших способность к плаванию после 90-минутной инкубации с нитратом свинца и/или дофамином

линии *cat-2* к токсическому действию  $Pb(NO_3)_2$  в концентрации 0.25–1.0 мМ (рис. 1–4). В работе Akiyem et al. [1] показано, что однократная обработка личинок *C. elegans* первого возраста L1 ацетатом свинца в концентрации 2.5 и 5 мМ вызывает дегенерацию 40 и 80% дофаминергических нейронов соответственно. При этом уровень эндогенного дофамина снижается с 3 нг/мг белка у необработанных личинок до 2 и 1 нг/мг белка у личинок, обработанных соответственно 2.5 и 5 мМ ацетата свинца. У *C. elegans* линии *cat-2* эндогенный дофамин выявлен не был [1].

Возможным объяснением различий чувствительности нематод линий N2 и *cat-2* к нитрату свинца, выявленных в нашей работе, может быть разный уровень эндогенного дофамина. Дофамин необходим для реализации многих форм поведения беспозвоночных, таких как локомоция, восприятие химических и механических стимулов, откладка яиц, обучение и память. У *C. elegans* одной из главных функций дофамина является регуляция локомоции. Известно, что дофамин участвует в уменьшении скорости спонтанной двигательной активности и полном ее прекращении у нематод при контакте с пищей и в период линьки. Действие экзогенного дофамина на нервную систему *C. elegans* имитирует состояние организма с повышенным уровнем

нем эндогенного дофамина. В наших экспериментах введение в среду инкубации 8 мМ дофамина повышало его концентрацию во внутренней среде организмов нематод и вызывало снижение спонтанной двигательной активности у 25–62.5% нематод линии N2 и почти не оказывало влияния на локомоцию нематод линии *cat-2* (рис. 1–4). Возможным объяснением отсутствия чувствительности спонтанной двигательной активности *C. elegans* линии *cat-2* к экзогенному дофамину может быть сохранение пониженного уровня дофамина во внутренней среде организма из-за низкой проницаемости кутикулы.

При совместном введении в среду инкубации  $Pb(NO_3)_2$  и дофамина у части нематод линии N2 восстанавливалась способность к плаванию. У *C. elegans* линии *cat-2* экзогенный дофамин не оказывал достоверного влияния на чувствительность плавания к нитрату свинца (рис. 1–4). Ионы свинца не только вызывают гибель дофаминергических нейронов, но и повышают активность транспортного белка DAT-1, осуществляющего обратный захват дофамина, что приводит к повышению уровня дофамина в пресинаптических нейронах и снижению его содержания в межклеточном пространстве [1]. Возможным объяснением отсутствия терапевтического действия экзогенного дофамина на нематод

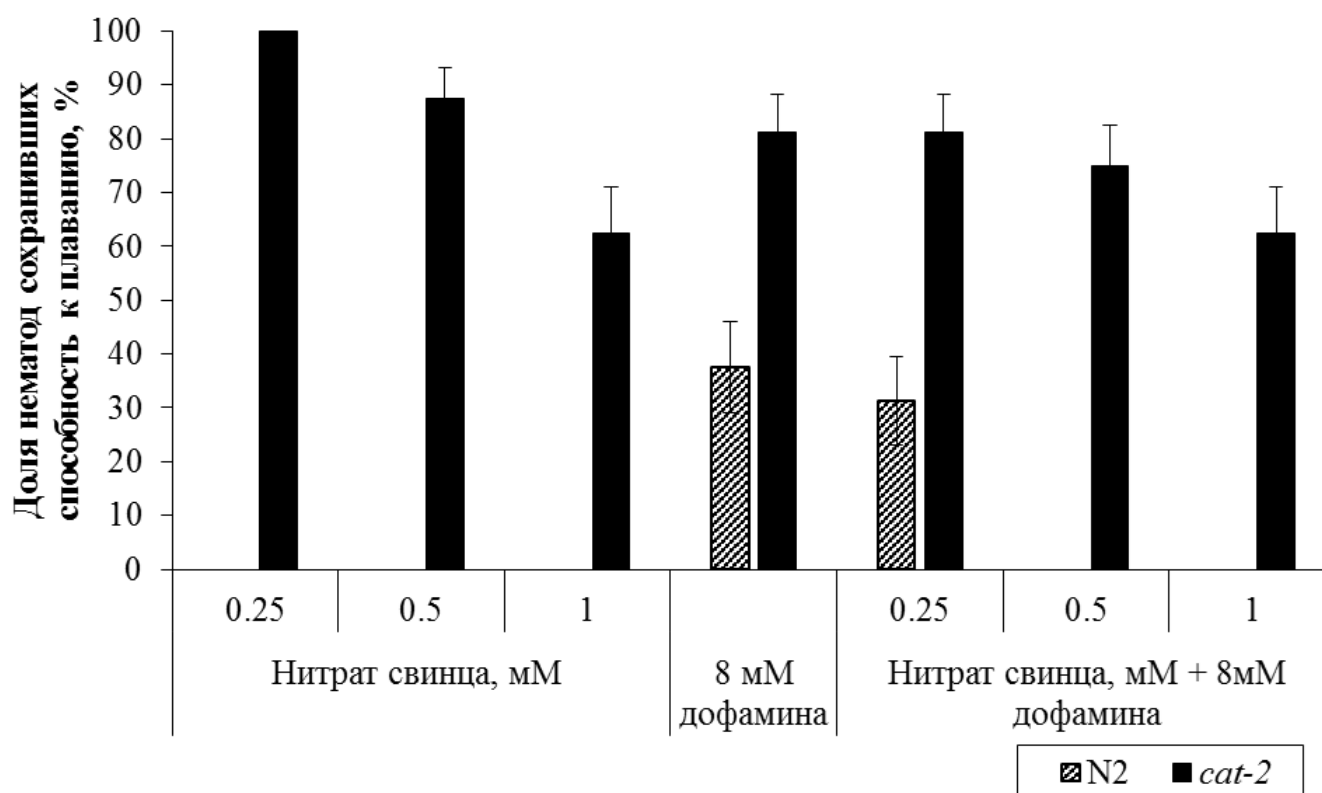


Рис. 4. Доля нематод, сохранивших способность к плаванию после 120-минутной инкубации с нитратом свинца и/или дофамином

линии *cat-2* является сохранение низкого уровня дофамина во внутренней среде организма вследствие слабой его проницаемости через кутикулу.

Известно, что дофамин модулирует скорость секреции ацетилхолина холинергическими моторными нейронами AVA, AVB, AVD и PVC в сети нейронов, регулирующих локомоцию нематод [15–17]. Активность этих нейронов модулируется дофамином и серотонином. Ранее было показано снижение уровня эндогенного дофамина ацетатом свинца у нематод линии дикого типа N2 [1]. В наших экспериментах снижение уровня эндогенного дофамина нитратом свинца выражалось в нарушениях моторной программы плавания *C. elegans* линии N2 (рис. 1–4). В регуляции локомоции нематод принимают участие два типа рецепторов дофамина — DOP-1 и DOP-3. Эти рецепторы необходимы как для начальной фазы плавания, так и для длительного его поддержания. Активация разных рецепторов дофамина может оказывать противоположное действие на скорость локомоции [15, 18–19]. Возможное объяснение результатов наших экспериментов заключается в следующем. Введение в среду инкубации экзогенного дофамина компенсирует снижение содержания эндогенного дофамина нитратом свинца в организмах

*C. elegans* линии N2 и, как следствие, повышает дофаминергическую трансмиссию и активирует рецепторы, повышающие скорость локомоции. Функционирование нейронной сети, контролирующей локомоцию нематод, подробно изучено у *C. elegans* линии дикого типа N2. Каким образом осуществляется регуляция локомоции у нематод мутантных линий с нарушенным синтезом биогенных аминов, в частности, у линии *cat-2*, в научной литературе не описано.

### Заключение

В работе исследовано токсическое действие ионов  $Pb^{2+}$  на *C. elegans* двух линий: линии дикого типа N2 и линии *cat-2*, у которой отсутствует эндогенный дофамин. Показана низкая, по сравнению с линией N2, чувствительность нематод линии *cat-2* к токсическому действию нитрата свинца в концентрации 0.25–1.0 мМ. Это позволило сделать вывод о том, что мишенью негативного действия свинца на организм *C. elegans* является дофаминергическая система. Наиболее вероятным механизмом нарушения функций дофаминергической системы ионами  $Pb^{2+}$  может быть нарушение синтеза дофамина дофаминергическими нейронами. В пользу этого предположения свидетельствует вы-

явленное нами восстановление способности нематод линии дикого типа N2 к плаванию при совместном действии нитрата свинца и дофамина. Отсутствие терапевтического действия дофамина на локомоцию

нематод линии *cat-2*, нарушенную нитратом свинца, может быть связано с особенностями функционирования нейронной сети, регулирующей локомоцию, в отсутствие дофамина.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Akinyemi A.J., Miah M.R., Ijomone O.M., Tsakic A., Soares F.A.A., Tinkov A.A., Skalny A.V., Venkataramani V., Aschner M. Lead (Pb) exposure induced neurotoxicity in *Caenorhabditis elegans*: involvement of the dopamine transporter // *Toxicology Reports*. 2019. V. 6. P. 833–840. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.08.001>
2. Lidsky T.I., Schneider J.S. Lead neurotoxicity in children: basic mechanisms and clinical correlates // *Brain*. 2003. V. 126. P. 5–19. DOI: 10.1093/brain/awg014
3. Jaishankar M., Tseten T., Anbalagan N., Mathew B.B., Beeregowda K.N. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals // *Interdisciplinary Toxicology*. 2014. V. 7. P. 60–72. doi: 10.2478/intox-2014-0009
4. Nemsadze K., Sanikidze T., Ratiani L., Gabunia L., Sharashenidze T. Mechanisms of lead-induced poisoning // *Georgian Medical News*. 2009. V. 172–173. P. 92–96.
5. Sanders T., Liu Y., Buchner V., Tchounwou P.B. Neurotoxic effects and biomarkers of lead exposure: A review // *Reviews on Environmental Health*. 2009. V. 24. P. 15–45. <https://doi.org/10.1515/reveh.2009.24.1.15>
6. Garza A., Vega R., Soto E. Cellular mechanisms of lead neurotoxicity // *Medical Science Monitor*. 2006. V. 12. P. RA 57–65.
7. Bouchard M., Laforest F., Vandellac L., Bellinger D., Mergler D. Hair manganese and hyperactive behaviors: pilot study of school-age children exposed through tap water // *Environmental Health Perspectives*. V. 115. 2007. P. 122–127. <https://doi.org/10.1289/ehp.9504>
8. Fitsanakis V.A., Au C., Erikson K.M., Aschner M. The effects of manganese on glutamate,  $\gamma$ -aminobutyric acid, and dopamine regulation // *Neurochemistry International*. 2006. V. 48. P. 426–433. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2005.10.012>
9. Oulhote Y., Mergler D., Barbeau B., Bellinger D.C., Bouffard T., Brouder M. — E. Saint-Amour D., Legrand M., Sauv e S., Bouchard M.F. Neurobehavioral function in school-age children exposed to manganese in drinking water // *Environmental Health Perspectives*. V. 122. 2014. P. 1343–1350. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307918>
10. Brenner S. The genetics of *Caenorhabditis elegans* // *Genetics*. 1974. V. 77. P. 71–94. <https://doi.org/10.1093/genetics/77.1.71>
11. Chen P., Martinez-Finley E.J., Bomhorst J., Chakraborty S., Aschner M. Metal-induced neurodegeneration in *C. elegans* // *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2013. V. 5. P. 1–11. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2013.00018>
12. Chase D.L., Koelle M.R. Biogenic amine neurotransmitters in *C. elegans* / *Wormbook*, ed. 2007. The *C. elegans* Research Community // URL: [http://wormbook.org/chapters/www\\_monoamines/monoamines.pdf](http://wormbook.org/chapters/www_monoamines/monoamines.pdf) (дата обращения 25.07.2022). doi/10.1895/wormbook.1.132.1
13. Wang D., Xing X. Assessment of locomotion behavioral defects induced by acute toxicity from heavy metal exposure in nematode *Caenorhabditis elegans* // *Journal of Environmental Sciences*. 2008. V. 20. P. 1132–1137. doi: 10.1016/s1001-0742(08)62160-9
14. Zhang Y., Ye B., Wang D. Effects of metal exposure on associative learning behavior in nematode *Caenorhabditis elegans* // *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2010. V. 59. P. 129–136. <https://doi.org/10.1007/s00244-009-9456-y>
15. Chase D.L., Pepper J.S., Koelle M.R. Mechanism of extrasynaptic dopamine signaling in *Caenorhabditis elegans* // *Nature Neuroscience*. 2004. Vol. 7. P. 1096–1103. doi: 10.1038/nn1316
16. Han B., Bellemer A., Koelle M.R. An evolutionary conserved switch in response to GABA affects development and behavior of the locomotor circuit of *Caenorhabditis elegans* // *Genetics*. 2015. V. 199. P. 1159–1172. <https://doi.org/10.1534/genetics.114.173963>
17. Jospin M., Qi Y.B., Stawicki T.M., Boulin T., Schuske K.R., Horvitz H.R., Bessereau J. — L., Jorgensen E.M., Jin Y. A neuronal acetylcholine receptor regulates the balance of muscle excitation and inhibition in *Caenorhabditis elegans* // *PLoS Biology*. 2009. V. 7. P. e1000265. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000265>
18. Sawin E.R., Ranganathan R., Horvitz H.R. *C. elegans* locomotory rate is modulated by the environment through a dopaminergic pathway and by experience through a serotonergic pathway // *Neuron*. 2000. V. 26. P. 619–631. doi: 10.1016/s0896-6273(00)81199-x
19. Vidal-Gadea A.G., Pierce-Shimomura J.T. Conserved role of dopamine in the modulation of behavior // *Communicative & Integrative Biology*. 2012. V. 5. P. 440–447. doi: 10.4161/cib.20978

© Егорова Анастасия Васильевна (egorovanastassia@gmail.com), Гатиятуллина Алсу Фоатовна (gaf9212@gmail.com),

Калинникова Татьяна Борисовна (tbkalinnikova@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



# КОНЦЕНТРАЦИЯ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА В БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ ОРГАНИЗМА ПРИ ИНТОКСИКАЦИИ ФУНГИЦИДОМ ТИРАМ

## CONCENTRATION OF REACTIVE OXYGEN SPECIES IN THE BIOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE BODY DURING THIRAM FUNGICIDE INTOXICATION

V. Korolev  
A. Sedykh  
V. Potenko  
E. Felker  
L. Yachmeneva  
E. Korolev

*Summary.* The intake of thiram with food products into the tissues, organs of animals and humans can lead to the activation of free radical oxidation processes due to the accumulation of reactive oxygen species (ROS). Aim of the study: Determination of the concentration of reactive oxygen species in the biological media of the body during intoxication with the fungicide thiram. This publication investigated the effect of thiram intoxication on the quantitative content of reactive oxygen species (ROS). Modeling of subchronic intoxication was accompanied by a significant increase in the content of ROS in all analyzed body media. Thus, we have shown that the increase in the formation of free radicals occurs due to the intake of micro-amounts of the fungicide thiram into the body.

*Keywords:* thiram, intoxication, oxidative stress, free radicals, reactive oxygen species.

**Королев Владимир Анатольевич**

Д.б.н., профессор, ФГБОУ ВО КГМУ (Курск)  
medecol1@yandex.ru

**Седых Анастасия Валерьевна**

Ассистент, ФГБОУ ВО КГМУ (Курск)  
turquoise95@mail.ru

**Потенко Владимир Владимирович**

Д.б.н., доцент, ГомГМУ (Гомель)  
gsmu@gsmu.by

**Фелькер Елена Викторовна**

К.м.н., доцент, заведующая кафедрой  
ортопедической стоматологии ФГБОУ ВО КГМУ (Курск)  
felkerev@kursksmu.net

**Ячменева Лилия Александровна**

Ассистент, ФГБОУ ВО КГМУ (Курск)  
yachmenevala@kursksmu.net

**Королев Егор Владимирович**

ФГБОУ ВО КГМУ (Курск)  
korolevva@kursksmu.net

*Аннотация.* Поступление тирама с пищевой продукцией в ткани, органы животных и человека может приводить к активации процессов свободно-радикального окисления, за счет накопления активных форм кислорода (АФК). Цель исследования: Определение концентрации активных форм кислорода в биологических средах организма при интоксикации фунгицидом тирам. В данной публикации исследовано влияние интоксикации тирамом на количественные содержания активных форм кислорода (ROS). Моделирование субхронической интоксикации сопровождалось значимым увеличением содержания ROS во всех проанализированных средах организма. Таким образом, нами показано, что усиление образования свободных радикалов происходит вследствие поступления в организм микроколичеств фунгицида тирам.

*Ключевые слова:* тирам, интоксикация, окислительный стресс, свободные радикалы, реактивные формы кислорода.

## Введение

**В** настоящее время широкое применение в агропромышленном комплексе (АПК) получил пестицидный препарат тирам (тетраметилтиурамдисульфид, ТМДТ), который относится к классу фунгицидов с контактным механизмом действия, II класса опасности [13]. Токсикант обладает высокой экономической эффективностью применения, однако способен проявлять высокие кумулятивные, токсические свойства и сохраняться в продуктах переработки агрокультуры

тур до полутора лет, в связи с чем представляет экологическую опасность [17].

Поступление тирама в ткани, органы животных и человека приводит к активации процессов свободно-радикального окисления и как следствие, к образованию свободных радикалов (СР), в том числе в виде реактивных форм кислорода (ROS) [1; 4; 15]. Это показатель, объединяющий радикальные и нерадикальные производные активного кислорода [18]. В концентрациях, превышающих физиологические, радикальные соеди-

нения являются высокотоксичными для биологических систем всех уровней, от молекулярного до организменного. Являясь химически активными соединениями, свободные радикалы вступают в реакции с молекулами различной химической природы и вызывают деградацию структурных белков и липидов клеточных мембран, ингибирование ферментов, изменение структуры и функциональных свойств гормонов и их рецепторов [5; 6; 11]. Чрезмерное накопление АФК сопровождается разрушением многих компонентов антирадикальной защиты, особенно белковой природы, что ведет к дальнейшему повышению уровня свободнорадикальной реакции. АФК, генерируемые внутриклеточно, а также проникающие внутрь через мембрану, являются пусковым фактором индукции апоптоза [8; 14].

Если скорость образования активных форм кислорода (АФК) превышает способность клетки к детоксикации происходит формирование окислительного стресса. Одним из важнейших следствий повышенного образования ROS является избыточная и неконтролируемая, в этих условиях, активация процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) [17].

#### Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на 50 крысах-самцах линии Вистар массой 200–220 грамм. В эксперименте животные были разделены на 5 групп [3]. 1 группа — здоровые, интактные крысы, которые являлись биологическим контролем. 2, 3, 4 и 5 группы получали фунгицид вместе с гранулированным кормом в дозе 8 мг/кг, что является 1/50 LD50, в течение 28 дней. Гранулы комбикорма измельчали в фарфоровой ступке до порошкообразного состояния, добавляли 2 мл дистиллированной воды и взвешенный тирам, формировали гранулы и сушили на открытом воздухе в течение 12 часов. Таким образом, интоксикация достигалась путем естественного кормления исключая физиологический стресс при проведении эксперимента.

Расчет дозы пестицида тирам выполнялся исходя из токсикологических данных: ЛД50 для крыс составляет 400 мг/кг. В связи с тем, что в эксперименте использовались дозы 1/50 ЛД50, то после расчета доза составила 8 мг/кг [7].

Для исследования отбирали — плазму крови, эритроцитарную массу, гомогенат печени, ротовую жидкость и парадонт экспериментального животного. Забой осуществляли декапитацией животных под эфирным наркозом. Забор крови производили с помощью пункции сердца. Кровь собирали в микроцентрифужные пробирки с гепарином (25 ед/мл), а затем

центрифугировали при 4 °C на 3000 об/мин в течение 15 мин. Надосадочную жидкость содержащую плазму отбирали для дальнейшего анализа в микроцентрифужные пробирки объемом 50 мкл. Осадок эритроцитов ресуспендировали в 10,0 мл охлажденного 0,9% раствора NaCl, затем клетки осаждали путем центрифугирования при 2000 об/мин в течение 5 мин. В последующем эритроциты трижды промывали раствором 0,9% NaCl. Плотный осадок эритроцитов использовали для дальнейшей работы. Для получения гомогената печени забирали часть органа, отмывали его от крови холодным 0,9% раствором хлорида натрия в течение 35–50 секунд. Перед исследованием печень и парадонт взвешивали, затем измельчали и гомогенизировали с помощью пестикового гомогенизатора, добавляя при этом 0,1 М калий-фосфатный буфер с pH 7,4, предварительно охлажденный до 0 °C, в соотношении «ткань-буфер» 1:6. Из полученных гомогенатов проводили отбор проб для дальнейших исследований. Пробы хранили при температуре –80 °C (низкотемпературный морозильник SUFsg 5001, Liebherr), в лабораторной зоне без дальнейшей транспортировки. Нестимулированная ротовая жидкость была получена путем её забора с помощью микропипетки в чистую пробирку, которую центрифугировали 20 минут на 1500 об/мин. Ротовую жидкость забирали и помещали в микроцентрифужные пробирки, в объеме 50 мкл.

Исследования проводили с соблюдением принципов, изложенных в Конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других целей (г. Страсбург, Франция, 1986).

После забора и пробоподготовки биообъектов было проведено лабораторное исследование, включающее определение ROS. Для исследования использовался следующий набор: OxiSelect™ In Vitro ROS/RNS Assay Kit (Green Fluorescence), STA-347, 96 assays (Cell Biolabs, USA). Для проведения интоксикации использовали тирам (137–26–8) чистотой 97% (Sigma-Aldrich, USA).

#### Определение ROS

Анализ проводили с использованием набора реагентов фирмы Cell Biolabs на микропланшетном ридере Varioscan Flash (Thermo Fisher Scientific, USA) при длине волны 480 нм. Концентрацию перекиси водорода в опытных пробах определяли по калибровочной кривой.

Статистический анализ. Для анализа данных использовались методы стандартной статистики. Для выявления статистических гипотез был использован критерий Стьюдента. Пороговый уровень статистической значимости принимали равным 0,05.

Таблица 1. Влияние тирама на показатель ROS

Показатель	ROS, mkmol/L (M±m)				
	Плазма крови	Эритроцитарная масса крови	Гомогенат печени	Ротовая жидкость	Пародонт
Группа 1. Контроль	0,26±0,02	115,24±12,04	149,64±15,24	26,98±0,47	110,34±40,03
Группа 2. Интоксикация 7-е сутки	0,50±0,05***	148,18±14,24	190,47±19,08	45,81±4,73***	147,64±30,12
Группа 3. Интоксикация 14-е сутки	0,61±0,06***	155,12±15,77	196,22±19,60	49,69±4,99***	153,01±41,37
Группа 4. Интоксикация 21-е сутки	0,72±0,07***	159,23±16,43*	210,42±21,17*	53,71±5,67***	158,64±44,78*
Группа 5. Интоксикация 28-е сутки	0,85±0,08***	164,38±16,48*	212,18±21,53*	55,06±5,68***	162,27±53,19*

Примечание: \* —  $p < 0,05$  по сравнению с контрольной группой, \*\* —  $p < 0,01$  по сравнению с контрольной группой, \*\*\* —  $p < 0,001$  по сравнению с контрольной группой.

Note: \* —  $p < 0.05$  compared with the control group; \*\* —  $p < 0.01$  compared with the control group; \*\*\* —  $p < 0.001$  compared with the control group.

## Результаты

В результате анализа полученных данных эксперимента было определено количественное содержание ROS (табл. 1).

Содержание ROS увеличивалось во всех проанализированных биологических средах на протяжении всего периода экспериментальной интоксикации тирамом. Максимальные изменения исследуемого показателя были отмечены в группе 5. В плазме крови значение ROS увеличилось в 3,26 раза ( $p < 0,001$ ), в эритроцитарной массе крови — в 1,42 раза ( $p < 0,05$ ), в гомогенате печени лабораторных животных — в 1,41 раза ( $p < 0,05$ ), в ротовой жидкости — в 2,04 раза ( $p < 0,001$ ), в пародонте — в 1,47 раза ( $p < 0,05$ ), в сравнении со значениями группы контроля.

## Заключение

АФК могут быть образованы при токсическом влиянии тирама. Клетка защищает себя от накопления ROS с помощью многих сложных систем. Эти системы вклю-

чают индуцируемые различные антиоксидантные ферменты, которые подавляют образование свободных радикалов. При ежедневном введении тирама на протяжении 28-и суток отмечалось значительное увеличение содержания ROS ( $p < 0,05$ ).

Многими исследователями показано, что проведение пестицидной интоксикации приводит к постепенному снижению активности ферментативного звена антиоксидантной защиты организма, что вероятно нарушает процесс перехода  $H_2O_2$  в  $H_2O$  [2; 12]. Накопление  $H_2O_2$ , влечет за собой высокое производство OH радикалов, что в свою очередь подтверждается увеличением значения ROS в течение всего периода интоксикации [9]. Блюм и Фридович (1985) обнаружили, что активность ферментов глутатионового семейства может быть инактивирована в условиях окислительного стресса супероксид-анионом и токсичными лигандами, такими как малоновый диальдегид, которые могут частично подавляют активность ферментов, вследствие чего происходит чрезмерное образование и накопление свободных радикалов, в частности реактивных форм кислорода [16].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Королев ВА, Королев ИВ, Харланов НА, и др. Изменение показателей липидного состава клеточных мембран в условиях пестицидной интоксикации и способы их профилактики. Научный результат. Медицина и фармация. 2017;3 (4):11–16. DOI: 10.18413/2313–8955–2017–3–4–11–16
2. Королев ВА, Ляшев ЮД, Грибач ИВ, и др. Изменение прооксидантно-антиоксидантного баланса при хронической интоксикации банколом и эффективность профилактических мероприятий с применением мексидола. Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». 2014;2:19–22.
3. Макарова М.Н., Шекунова Е.В., Рыбакова А.В., Макаров В.Г. Объем выборки лабораторных животных для экспериментальных исследований // Фармация. 2018. Т 67. № 2. С. 3–8.
4. Редокс-зависимая регуляция апоптоза: адаптивная роль активных форм кислорода при окислительном стрессе / Н.В. Рязанцева, В.В. Новицкий, Н.Ю. Часовских [и др.] // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. — 2008. — Т. 94, № 6. — С. 710–718.

5. Сазонтова, Т.Г. Значение баланса прооксидантов и антиоксидантов — равнозначных участников метаболизма / Т.Г. Сазонтова, Ю.В. Архипенко // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. — 2007. — № 3. — С. 2–18.
6. Терехина Н.А., Петрович Ю.А. Свободнорадикальное окисление и антиоксидантная система. Пермь: ГОУ ВПО «ПГМА МЗ». 2005;2:30.
7. Хабриев Р.У. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ // М.: Медицина. 2005. 832 с.
8. Agarwal A, Saleh RA, Bedaiwy MA. Role of reactive oxygen species in the pathophysiology of human reproduction. Fertil. Steril. 2003;79:829–843. DOI: 10.1016/s0015-0282 (02) 04948-8
9. Aruoma O.I., Halliwell B., Hoey B.M., Butler J. The antioxidant action of N-acetylcysteine: its reaction with hydrogen peroxide, hydroxyl radical, superoxide and hypochlorous acid. Free Radical Biol. Med. 1989, 6, pp. 593–597.
10. Banerjee BD, Seth V, Ahmed RS. Pesticide-induced oxidative stress: perspectives and trends. Rev. Environ. Health. 2001;16:1–40. DOI: 10.1515/reveh.2001.16.1.1
11. Blum J, Fridovich I. Inactivation of glutathione peroxidase by superoxide radical. Arch. Biochem. Biophys. 1985;240:500–508. DOI: 10.1016/0003-9861 (85) 90056-6.
12. Cereser C, Boget S, Parvaz P, et al. Thiram-induced cytotoxicity is accompanied by a rapid and drastic oxidation of reduced glutathione with consecutive lipid peroxidation and cell death. Toxicology. 2001;163:153–162. DOI: 10.1016/s0300-483x (01) 00401-2
13. International Agency for Research on Cancer, 1991. IARC working group, Thiram. In: IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, vol. 53. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 403–422/
14. Oxidative Stress and Antioxidant Defense / E. Birben, U.M. Sahiner, C. Sackesen [et al.] // World Allergy Organization Journal. — 2012. — Vol. 5, Iss. 1. — P. 9–19.
15. Oxidative stress, genotoxicity, biochemical and histopathological modifications induced by epoxiconazole in liver and kidney of Wistar rats / H. Hamdi, Y.B. Othmène, O. Ammar [et al.] // Environmental science and pollution research international. — 2019. — Vol. 26, Iss. 17. — P. 17535–17547.
16. Oxidative stress markers in preeclamptic placentas: a systematic review with meta-analysis / R.C. Ferreira, M. B.T. Fragoso, N.B. Bueno [et al.] // Placenta. — 2020. — Vol. 99. — P. 89–100.
17. Valko M, Rhodes CJ, Moncol J, et al. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. Chemo-Biological Interact. 2006;160:1–40. DOI: 10.1016/j.cbi.2005.12.009

© Королев Владимир Анатольевич ( medecol1@yandex.ru ), Седых Анастасия Валерьевна ( turquoise95@mail.ru ),  
Потенко Владимир Владимирович ( gsmu@gsmu.by ), Фелькер Елена Викторовна ( felkerev@kursksmu.net ),  
Ячменева Лилия Александровна ( yachmenevala@kursksmu.net ), Королев Егор Владимирович ( korolevva@kursksmu.net ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Курск

# ФОРМИРОВАНИЕ И ФУНКЦИИ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

## FORMATION AND FUNCTIONS OF THE NERVOUS SYSTEM IN THE HUMAN BODY

**A. Morozova**  
**M. Labzina**  
**M. Morozov**  
**T. Kiyayeva**  
**J. Setyaeva**  
**S. Kizhapkina**  
**A. Emel'yanov**

*Summary.* The resulting specialized (differentiated) cells cannot exist independently, so they begin to cooperate, forming tissues and organs. In the formation of organs, cell membranes play an important role through intermediate processes: cell contacts, adhesion, and aggregation. The original experiment, which proves the ability of embryonic tissues to self-determination, encoded in ontogenesis, deserves attention and admiration. Four different tissues of the amphibian embryo were taken: the epidermis, the neural plates, the region of the neural folds, and the cells of the intestinal ectoderm. Cells were randomly disaggregated and mixed. After some time, they gradually began to sort out, and this process continued until three layers were formed: the upper one was the epidermal layer of tissue, the middle one was the neural tube, the lower one was the accumulation of endodermal cells, i.e. selective sorting was observed — cell segregation. At present, it is known that the development of organs and the embryo as a whole is organized by the dorsal lip of the blastopore.

*Keywords:* morphogenesis, nervous system, neural tube, embryo formation.

**Морозова Анастасия Сергеевна**

Врач-ординатор по акушерству и гинекологии,  
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет им. Н.П.  
Огарёва»  
asyatol97@mail.ru

**Лабзина Маргарита Владимировна**

К.м.н., доцент кафедры акушерства и гинекологии,  
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет им. Н.П.  
Огарёва»  
LudmilaMedin@yandex.ru

**Морозов Максим Владимирович**

Врач-ординатор по неврологии, ФГБОУ ВО  
«Национальный исследовательский Мордовский  
государственный университет им. Н.П. Огарёва»  
morozov\_mv93@mail.ru

**Кияева Татьяна Александровна**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет им. Н.П.  
Огарёва» kiyayeva.tanya.2002@gmail.com

**Сетяева Юлия Игоревна**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет им. Н.П.  
Огарёва»  
setyaeva-julia@rambler.ru

**Кижапкина Софья Васильевна**

ФГАОУ ВО «Российский национальный  
исследовательский Медицинский Университет им.  
Н.И. Пирогова», Министерства здравоохранения  
Российской Федерации  
skizhapkina@bk.ru

**Емельянов Андрей Александрович**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет им. Н.П.  
Огарёва»  
booger.man2013@yandex.ru

*Аннотация.* Образовавшиеся специализированные (дифференцированные) клетки не могут существовать самостоятельно, поэтому они начинают кооперироваться, образуя ткани и органы. В образовании органов важнейшую роль играют клеточные мембраны путем промежуточных процессов: клеточных контактов, адгезии, агрегации. Заслуживает внимания и восхищения оригинальный эксперимент, доказывающий закодированную в онтогенезе способность эмбриональных тканей к самоопределению. Были взяты четыре разные ткани эмбриона амфибий: эпидермис, нервные пластины, участок нервных валиков, клетки эктодермы кишечника. Клетки случайным образом дезагрегировали и смешали. Через некоторое время они постепенно начали рассортировывать-



## Введение

**С**пинная губа индуцирует в эктодерме образование головного и спинного мозга, а сама дифференцируется в спинную хорду и сомиты. В общем процесс образования тканей и органов начинается с формирования нервной пластинки на спинной стороне зародыша. Затем стороны нервной пластинки поднимаются и образуют нервные валики, а между ними возникает полость будущей нервной системы. Края валиков соединяются (на спинной стороне), и нервная пластинка превращается в нервную трубку, которая отделяется от остальной части эктодермы, срастающейся над нервной трубкой и впоследствии дающей начало покровному эпителию. Из эктодермы, кроме нервной трубки, возникают органы чувств, внешний слой покровов (эпидермис кожи), кожные железы, передняя и задняя кишки. Энтодерма дает начало эпителию, выстилающему полость средней кишки, и ее производным — пищеварительным железам (печень, поджелудочная железа), хорде, легким, секреторным отделам передней и задней долей гипофиза и щитовидной железе. Из мезодермы формируются зачатки скелета, мышц, кровеносной системы, соединительнотканых слоев кожи, плевры; брыжейка брюшной полости; перикард; половые и выделительные органы [1,2]. Механизм морфогенеза. Большинство соседних тканей обмениваются индукционными сигналами, что стимулирует образование новых тканей и органов. Функции индукционных сигналов выполняют кейлоны — гормоны местного действия, которые обладают способностью временно тормозить митотическую активность клеток и вместе с антикейлонами направляют клетки на пути дифференцировки [3]. Сформировавшиеся в органы скопления специализированных клеток не могут длительное время существовать самостоятельно и выполнять определенные функции, координацию которых в организме человека выполняют тысячи регуляторных систем. Наиболее сложными из них являются системы генетической регуляции. На уровне отдельных органов и всего организма действует множество других регуляторных систем. Важнейшими из них, как известно, являются нервная, кровеносная, дыхательная, пищеварительная, выделительная, иммунная,

причем этот процесс продолжался до тех пор, пока не образовались три слоя: верхний — эпидермальный слой ткани, средний — нервная трубка, нижний — скопление энтодермальных клеток, т.е. наблюдалась избирательная сортировка — сегрегация клеток. В настоящее время известно, что программу развития органов и эмбриона в целом организует дорсальная губа бластопора.

*Ключевые слова:* морфогенез, нервная система, нервная трубка, формирование эмбриона.

гормональная, которые формируют и поддерживают гомеостаз — внутреннюю среду жизнедеятельности организма. Необходимо признать, что из всех перечисленных регуляторных систем ведущую роль в координации всех функций нашего организма играет нервная система, различные ее звенья. Поэтому, как вы, видимо, обратили внимание, первичные структуры нервной системы начинают закладываться уже на ранних стадиях морфогенеза. В зрелом состоянии по характеру выполняемых функций нервную систему можно разделить на три звена: чувствительное (афферентное), центральное (интегративное) и двигательное (моторное). Основу чувствительного звена составляют многочисленные и многообразные рецепторы (баро-, хемо-, электромагнитные и др.), через которые организм получает первичную информацию о внешних факторах, воздействующих на организм, и сигналы о возникших изменениях гомеостаза. Поражает скорость прохождения сигнала — миллисекунды, благодаря чему организм успевает реагировать на большинство экстренных ситуаций. Особенностью рецепторов является их высокая специфичность. Различают быстро адаптирующиеся (скоростные, динамические) и медленно адаптирующиеся рецепторы. Отличие их заключается в самом механизме восприятия и передачи информации. Быстро адаптирующиеся рецепторы не могут использоваться для передачи непрерывного сигнала, потому что они активизируются только при изменении силы стимула. Но если стимул (раздражитель) действительно сильный, то рецепторы реагируют мгновенно и очень сильно. Например, один из механорецепторов, так называемые тельца Пачини, в случае сдавливания ткани мгновенно, в течение нескольких миллисекунд, возбуждается, но затем возбуждение прекращается, несмотря на продолжающееся давление. Правда, позднее, в момент прекращения давления, рецептор вновь возбуждается и передает сигнал. Как вы поняли, такой рецептор, как тельце Пачини, безусловно, важен для оповещения нервной системы о быстрых деформациях ткани, но совершенно бесполезен для передачи информации о текущем стабильном состоянии организма. Для большинства сенсорных рецепторов максимальное напряжение для экстренного возбуждения составляет около 100 мВ, но при этом чем выше рецеп-

торный потенциал порогового уровня, тем выше частота потенциалов действия. Функции медленно адаптирующихся рецепторов заключаются в постоянной (регулярной) передаче сигналов в центральные отделы нервной системы о состоянии тела, его положении и связи с окружающей средой. К ним относят болевые рецепторы, рецепторы макул в вестибулярном аппарате, артериальные барорецепторы, хеморецепторы каротидных и аортальных телец. Так как медленно адаптирующиеся рецепторы способны передавать информацию в течение многих часов, их называют тоническими. Напомним, что в разных рецепторах развитие сигнала может быть вызвано следующими способами: их механической деформацией, действием химического вещества на мембрану, изменением температуры в области мембраны рецептора, влиянием электромагнитного излучения, но все они вызывают однотипную реакцию — изменение мембранного потенциала и открытие ионных каналов в мембране клетки. Скорость поступления информации, получаемой от рецептора, может быть разной — от 0,5 до 120 м/с и зависит не только от силы импульсов, но и от толщины нервного волокна, диаметр которого может быть от 0,5 до 20 мкм. Высокую скорость проведения импульсов обеспечивают нервные волокна, покрытые миелиновой оболочкой, — миелинизированные волокна (волокна типа А). Они проводят скоростные импульсы (до 120 м/с) от мышечной ткани, сухожилий, большинства кожных осязательных рецепторов; температурных, грубых тактильных, болевых (острая боль) рецепторов. Диаметр их от 3 до 17 мкм. Немиелинизированные нервные волокна (волокна типа С) служат для медленного проведения информации (0,5 м/с). К ним относятся более половины сенсорных волокон в большинстве периферических нервов и все постганглионарные вегетативные волокна. Информация о силе сигнала (раздражителя) передается двумя путями: увеличением числа возбужденных волокон или повышением частоты потенциалов действия в каждом волокне [4,5]. Итак, давайте суммируем основные этапы (механизмы) возникновения и передачи импульса от рецептора до структур центральной нервной системы. При любом воздействии (болевом, химическом, электрическом и др.) на каждую клетку организма в ней возникает возбуждение — изменение мембранного потенциала клетки за счет проникновения внутрь нее ионов  $\text{Na}^+$  и выхода наружу ионов  $\text{K}^+$ . В результате возникает диффузионный потенциал, когда примерно в течение 1 мс мембрана клетки снаружи становится заряженной положительно, а внутренняя ее сторона — отрицательно. Таким путем универсальная химическая реакция способствует возникновению биоэлектрического сигнала. Реакция эта быстрообратима (в течение доли миллисекунд) для возможности сохранения физиологических параметров внутриклеточного гомеостаза.

Существенно важно отметить, что в ходе подобных реакций для первого этапа — отрицательной зарядки внутренней стороны мембран клетки, в частности клеточек нервных волокон у млекопитающих, необходима разность потенциалов 94 мВ, а для процесса восстановления первоначального статуса — только 61 мВ, т.е. вторая фаза образования диффузного потенциала заметно менее энергозатратна. При достижении нервного импульса различных структур центральной нервной системы возможны различные эффекты. На уровне спинного мозга вероятны неосознанные рефлекторные действия (вспомните невольное отдергивание ладони при соприкосновении с горячим предметом). Но не нужно считать, что спинной мозг только проводник сигналов от рецепторов к головному мозгу и обратно. Показано, что при перерезке спинного мозга даже на уровне верхних шейных сегментов в организме сохраняются многие высокоорганизованные функции, в частности двигательные; рефлексы, с помощью которых происходит отдергивание частей тела от причиняющих боль объектов; рефлексы, регулирующие местные реакции кровеносных сосудов, движения желудочно-кишечного тракта или выделение мочи. Часто более высокие уровни нервной системы действуют на периферию тела не непосредственно, а через регулирующие центры спинного мозга. Но большинство бессознательных рефлекторных функций контролируется центрами, расположенными в нижних отделах головного мозга — в области продолговатого мозга, моста, среднего мозга, гипоталамуса, таламуса, мозжечка и базальных ганглиев. Например, подсознательный контроль артериального давления и дыхания достигается в основном на уровне продолговатого мозга и моста. Последнее, высшее звено центральной нервной системы — кора головного мозга выполняет качественно новую, уникальную функцию — позволяет сознательно оценить и расшифровать информационный материал, поступающий от внутренних органов, тканей организма и внешней среды. Кроме того, кора головного мозга способна «разложить по полочкам» и сохранить в памяти все незначительные события в жизни и реакции на них, чем в тысячи раз повышает наши адаптационные возможности. Такая уникальная возможность, возникшая в процессе эволюции человека, основана на известных нам механизмах передачи импульсов и потенциалов действия через непрерывный ряд нейронов, расположенных один за другим. Это очень важно, поскольку любой импульс: • может быть заблокирован при проведении от одного нейрона к следующему; • превращен из одного импульса в серию импульсов; • интегрирован с импульсами от других нейронов, способствуя появлению схожей картины импульсации, т.е. мы наблюдаем принцип избирательности информации, а сам процесс принято называть синаптическими функциями нейронов. Различают два

основных типа синапсов: химический и электрический. Абсолютное большинство синапсов, используемых в центральной нервной системе человека для передачи сигналов, химические. При этом механизм передачи сигнала следующий: первый нейрон, в который поступил сигнал, секретирует в своем нервном окончании химическое вещество — медиатор. Медиатор действует на рецепторный белок в мембране следующего нейрона, способствуя его возбуждению, торможению или изменяя его состояние каким-либо другим путем. Медиаторы могут быть разные, в настоящее время их известны более 40. Наиболее изучены ацетилхолин, адреналин, норадреналин, гистамин, гамма-аминомасляная кислота (ГАМК), глицин, глутамат, серотонин. Электрические синапсы, в отличие от химических, проводят сигнал сразу, прямым открытием наполненных электролитом каналов, которые проводят электроток от первой клетки к следующей. Большинство электрических синапсов состоит из микроскопических белковых трубчатых структур (щелевых контактов), которые позволяют ионам свободно перемещаться из одной клетки в другую. В центральной нервной системе таких синапсов очень мало, они в основном присутствуют в гладкомышечной ткани висцеральных мышц и в миоцитах сердечной мышцы. В функциональном отношении отличие химических медиаторов от электрических заключается в том, что они способны проводить сигналы только в одном направлении — от пресинаптического нейрона, секретирующего медиатор, к постсинаптическому, на который медиатор действует, а сигналы электрических синапсов могут распространяться в любом направлении. Такая узкая специализация синапсов позволяет нервной системе управлять метаболическими процессами как в своих центральных структурах, так и в терминальных периферических нервах, в частности дает возможность выполнять ее многочисленные функции: восприятия, двигательной активности, памяти и др. Выполнение функций синапсами обеспечивается благодаря особенностям их строения. Как известно из гистологии, каждый нейрон состоит из трех основных частей: сомы — главной части нейрона, одного аксона, который распространяется от сомы и входит в периферический нерв, выходящий из ствола спинного мозга, и дендритов — большого количества ветвящихся отростков сомы, распространяющихся на расстояние до 1 мм в окружающие области спинного мозга. На поверхности дендритов и сомы, например, мотонейрона находятся от 10 000 до 200 000 микроскопических пресинаптических терминалей — бугорков, из которых приблизительно 80–95% на дендритах и лишь 5–20% на соме. Эти пресинаптические терминали являются окончаниями нервных волокон, отходящих от многих рядом расположенных нейронов. Одни из этих терминалей являются возбуждающими, так как секретируют медиатор, который возбуждает по-

стсинаптический нейрон, другие — тормозными, т.е. секретируют медиатор, тормозящий постсинаптический нейрон. В зависимости от выполняемой функции нейроны различаются размером тела (сомы) клетки, диаметром, длиной и числом дендритов, длиной и размером аксона, количеством пресинаптических терминалей (от нескольких единиц до 200 000). По данным электронно-микроскопических исследований, пресинаптические терминали в основном представляют собой круглые или овальные бугорки. Пресинаптическая терминаль отделяется от сомы постсинаптического нейрона синаптической щелью (шириной 20–30 нм), имеет в своей структуре пузырьки с медиатором и митохондриями. Последние вырабатывают АТФ, снабжающую энергией процессы синтеза новых молекул медиатора. Механизм передачи сигнала от пресинаптической терминали на постсинаптический нейрон заключается в том, что исходящий из пресинаптической терминали сигнал (потенциал действия) вызывает деполяризацию ее мембраны и опорожнение небольшого числа везикул с медиатором в щель. Выделенный медиатор в свою очередь мгновенно вызывает изменение проницаемости мембраны постсинаптического нейрона, что ведет к возбуждению или торможению постсинаптического нейрона в зависимости от принадлежности нейрональных рецепторов. При прохождении сигнала в постсинаптический нейрон важное значение имеют количество рецепторных белков на его мембране и наличие ионов  $Ca^{2+}$ . Вся информация с периферических участков тела через синапсы передается в ствол спинного мозга. При этом вся сенсорная информация от соматических сегментов тела входит в спинной мозг через задние корешки спинальных нервов. Дальнейшее прохождение сигналов возможно по двум альтернативным путям: • по системе задних столбов (медиальной петли); • по переднебоковой (спиноталамической) системе. Система задних столбов доставляет информацию к продолговатому мозгу, где после очередного синаптического переключения на уровне продолговатого мозга сигналы переходят на противоположную сторону и продолжают свой путь вверх к таламусу через ствол мозга по медиальной петле. В переднебоковой системе сигналы сразу после входа через задние корешки в спинной мозг проходят через синапс в сером веществе его задних рогов, затем также переходят на противоположную сторону спинного мозга и восходят к нижним отделам его ствола и таламуса по передним и боковым столбам. По системе задних столбов, состоящей из толстых миелинизированных нервных волокон, сигналы передаются от 30 до 110 м/с, в то время как по переднебоковой системе они проходят с гораздо меньшей скоростью — от нескольких метров в секунду до 40 м/с [6]. В связи с такими электрофизиологическими особенностями система выполняет разные функции (задачи). Система задних



столбов медиальной петли передает: • тактильные ощущения с высокой степенью локализации раздражителя; • тактильные ощущения с тонкой градацией интенсивности; • фазные ощущения (типа вибрации); • ощущение движения по коже; • ощущения положения суставов. По переднебоковой системе передаются сигналы: • боли; • изменений температуры (тепла, холода); • ощущения грубого прикосновения и давления с рассеянной степенью локализации на поверхности тела; • ощущение зуда (щекотки); • сексуальных ощущений. Как видно из приведенных данных, уже на уровне спинного мозга существует специализация определенных структур по приему и передаче различных сигналов. Но при попадании сигналов даже в нижние отделы головного мозга информация подвергается более детальной обработке и усвоению с участием нескольких структур подкорковой области мозга. Например, регуляция равновесия тела в пространстве является комбинированной функцией «старых» отделов мозжечка, ретикулярной формации, продолговатого мозга, моста и среднего мозга. Пищевые рефлексы (выделение слюны, облизывание губ при виде и ощущении вкуса пищи) контролируют центры продолговатого мозга, моста, среднего мозга, миндалин и гипоталамуса. Подсознательный контроль артериального давления и дыхания достигается в основном на уровне продолговатого мозга и моста. Интересно, что даже такие сложные эмоционально окрашенные реакции, как гнев, волнение, реакция на боль и удовольствие, половое поведение и другие, могут сохраняться даже после разрушения большей части коры головного мозга. Но надо признать, что самую важную функцию в этой сложной иерархии обработки сигналов у человека играет кора больших полушарий мозга, в которой происходят интеграция, анализ и создание сознательной программы действий (реакций) в ответ на постоянно изменяющиеся жизненные ситуации и изменения гомеостаза. Кроме того, уникальной функцией корковых структур является способность закреплять эти программы в памяти и таким образом на основании накопленного опыта многократно повторять адаптационные возможности нашего организма в окружающей среде. Такова краткая информация о важнейших реализующих функциях нервной системы, которая должна нам помочь более подробно понять основные патомеханизмы возникновения клинических симптомов при осложнениях беременности. Отдельно следует остановиться на функциях так называемой, автономной/вегетативной нервной системы. Автономным (т.е. независимым) это звено нервной системы можно назвать лишь условно, так как многие его функции осуществляются под «ценным руководством» центральной нервной системы, в частности коры (в основном ее лимбической части), ствола мозга и гипоталамуса. И все же особенностью автономной нервной системы является ее способность дей-

ствовать посредством висцеральных рефлексов. Это значит, что подсознательные сенсорные сигналы от внутренних органов поступают в вегетативные ганглии, ствол мозга или гипоталамус и затем возвращаются назад, непосредственно к внутренним органам, регулируя их активность без «руководящих указаний» коры больших полушарий мозга путем подсознательных рефлекторных реакций. Это, безусловно, ценный, сформировавшийся в процессе эволюции человека адаптационный механизм, позволяющий максимально быстро и интенсивно изменять важнейшие показатели гомеостаза, например в течение 3–5 с, в два раза увеличивать частоту сердечных сокращений, в течение 10–15 с вдвое повышать артериальное давление или, наоборот, в определенных ситуациях снижать его до критических величин, вызвав обморок (или шок) и др. Передача эфферентных (ответных) сигналов из центров вегетативной регуляции в зависимости от необходимого эффекта происходит по двум путям — через структуры симпатического и парасимпатического звеньев автономной нервной системы. Эти звенья, как известно, обладают противоположным действием на внутренние органы и поэтому имеют некоторые отличия в анатомическом строении. Симпатическое звено состоит из двух цепочек паравертебральных симпатических ганглиев, связанных спинальными нервами со спинным мозгом (со стороны позвоночного столба); двух паравертебральных ганглиев — чревного и подчревного и нервов, идущих от ганглиев к различным внутренним органам. Чревный ганглий значительно мощнее, в нем собирается информация от большинства внутренних органов брюшной полости и забрюшинного пространства: пилоруса желудка, кишечника, илеоцекального клапана, анального сфинктера, почек, мозгового вещества надпочечника, мочеточника. От подчревного ганглия отходят нервные волокна, регулирующие функции мочевого пузыря и частично половых органов. К органам грудной клетки (сердцу, бронхам), а также к луковицам волос, потовым железам, кровеносным сосудам и глазу симпатические волокна отходят непосредственно от спинного мозга на уровне Т1–Т5 грудного и С7–С8 шейных позвонков, не проникая в чревное сплетение. Обратите внимание, симпатические нервные волокна начинаются вместе со спинальными нервами в спинном мозге между сегментами Т1 и L2 (к вопросу об автономии вегетативной нервной системы) и проходят сначала к симпатической цепочке, а затем к тканям и органам, стимулируемым симпатическими нервами. Каждый симпатический путь от спинного мозга к стимулируемой ткани состоит из двух нейронов — преганглионарного и постганглионарного (если помните, путь двигательных волокон к скелетной мышце имеет лишь один нейрон). Как только спинальный нерв покидает спинномозговой канал, преганглионарные синаптические волокна отделяются и проходят в один из ганглиев

симпатического маршрута. И здесь возможны три варианта: • волокно может формировать синапс с постганглионарным симпатическим нейроном в том ганглии, в который оно вошло; • волокно может восходить или опускаться вниз и формировать синапс с другими ганглиями; • волокно может, проходя по цепочке и выйдя через один из симпатических нервов наружу, образовывать синапсы в периферическом симпатическом ганглии. В связи с этим постганглионарные симпатические нейроны могут находиться либо в одном из ганглиев симпатической цепочки, либо в одном из периферических симпатических ганглиев. В любом случае постганглионарные волокна направляются к месту назначения в различные органы. О совместной работе симпатических нервных волокон с двигательными нервами скелетных мышц говорит тот факт, что эти волокна проходят совместный путь по мышце, где симпатические волокна регулируют тонус кровеносных сосудов. В составе скелетного нерва входит примерно 8% симпатических нервных волокон. В отличие от них парасимпатические нервные волокна выходят из ствола нервной системы в составе III, VII, IX, X пар черепных нервов, а часть их в составе II–III (иногда I и IV) крестцовых спинальных нервов. Все же большая часть (примерно 75% всех парасимпатических нервных волокон) идут в составе блуждающих нервов — X пары черепных нервов, иннервируя все грудные и брюшные органы тела: сердце, легкие, пищевод, желудок, всю тонкую кишку, проксимальную половину толстой кишки, печень, желчный пузырь, поджелудочную железу, почки и верхние части мочеточников. Кроме того, парасимпатические волокна III пары черепных нервов идут к сфинктеру зрачка и ресничной мышце глаза, волокна VII пары черепного нерва — к слезным, носовым и подчелюстным железам, волокна IX пары иннервируют околоушную железу. Крестцовые парасимпатические волокна идут в составе тазовых нервов, которые проходят через крестцовое сплетение спинальных нервов на каждой стороне спинного мозга на уровне S2 и S3. Затем эти волокна направляются к нисходящему отделу толстой кишки, прямой кишке, мочевому пузырю, нижним частям мочеточников, к наружным половым органам (вызывают возбуждение). Аналогично симпатической парасимпатическая система имеет преганглионарные и постганглионарные нейроны. Однако большинство преганглионарных волокон проходит весь путь до иннервируемого органа, не прерываясь. Постганглионарные нейроны локализуются непосредственно в стенке органа, образуя там синапсы и очень короткие постганглионарные волокна (от доли миллиметра до нескольких сантиметров), и только потом покидают нейроны, иннервируя ткани органа. В этом заключается принципиальное отличие анатомии парасимпатической нервной системы от симпатической, у которой, как вы уже знаете, клеточные тела постганглионарных

нейронов почти всегда локализуются в ганглиях симпатической цепочки, а не в самих иннервируемых органах. Необходимость таких различий пока не совсем понятна, так как и парасимпатические, и симпатические нервные волокна одинаково секретируют один из двух медиаторов — ацетилхолин и норадреналин. Поэтому волокна, секретирующие ацетилхолин, принято называть холинергическими, а секретирующие норадреналин — адренергическими. При этом все преганглионарные нейроны (и симпатического звена, и парасимпатического) являются холинергическими, так как ацетилхолин или подобные ему вещества при действии их на ганглии возбуждают и симпатические, и парасимпатические постганглионарные нейроны. Далее, почти все постганглионарные нейроны парасимпатической системы остаются холинергическими, в то время как большинство постганглионарных симпатических нейронов становятся адренергическими! Исключения составляют постганглионарные симпатические нервные волокна, иннервирующие потовые железы, мышцы, поднимающие волосы и очень небольшое число кровеносных сосудов, которые продолжают функционировать как холинергические. Поэтому данные медиаторы при введении их в кровеносное русло оказывают или парасимпатический, или симпатический эффект. Ацетилхолин считают парасимпатическим медиатором, а норадреналин — симпатическим медиатором. Локализуются эти медиаторы в окончаниях нервных волокон, которые обычно располагаются на поверхности соединительной ткани, прилегающей к иннервируемой ткани (органу) в так называемых варикозах. В варикозах (везикулах), помимо медиаторов, находятся митохондрии, обеспечивающие выработку АТФ — энергетика для синтеза ацетилхолина и норадреналина. Досконально механизм действия этих медиаторов пока не изучен, но установлено, что во многом эффекты их зависят от активности рецепторов ( $\alpha 1$ -,  $\alpha 2$ -,  $\beta 1$ -,  $\beta 2$ -холинергических и  $\alpha 1$ -,  $\alpha 2$ -,  $\beta 1$ -,  $\beta 2$ -адренергических), находящихся на поверхности мембран клеток иннервируемого органа, ткани. При этом эффекты от действия ацетилхолина и норадреналина могут быть и одинаковыми, и противоположными.

Несколько подробнее необходимо обсудить эффекты влияния симпатической и парасимпатической стимуляции на артериальное давление. Как известно, артериальное давление определяется двумя факторами: продвижением крови за счет сокращений мышцы сердца и сопротивлением току крови через периферические кровеносные сосуды. Симпатическая стимуляция увеличивает и движущую силу сердца, и сопротивление току крови, что приводит к острому подъему артериального давления, но только в том случае, если одновременно не происходит стимуляции задержки соли и воды почками. С другой стороны, умеренная па-

расимпатическая стимуляция, действуя через блуждающий нерв, снижает насосную функцию сердца, фактически не влияя на сопротивление периферических сосудов. Следовательно, возникает слабо выраженный эффект гипотензии [7,8,9]. Однако очень сильная стимуляция блуждающего нерва может резко затормозить, а иногда полностью или мгновенно полностью остановить сокращения сердечной мышцы, что вызывает падение артериального давления практически до нулевого уровня. Симпатическая стимуляция целиком зависит от медиаторов — адреналина и норадреналина в крови и иннервируемых тканях. Синтез этих медиаторов происходит в основном в мозговом слое надпочечников. В обычных условиях в норме их мозговое вещество вырабатывает в минуту 0,2 мкг адреналина и около 0,05 мкг норадреналина. Этого количества вполне достаточно, чтобы сохранить почти нормальное артериальное давление даже при удалении всех прямых синаптических путей к сердечно-сосудистой системе. Секретируемые надпочечниками гормоны разносятся током крови по органам и тканям. При этом в состав секрета входит до 80% адреналина и около 20% норадреналина. Циркулирующие адреналин и норадреналин оказывают почти такое же влияние на разные органы, как

и при прямой симпатической стимуляции, но эффекты при этом длятся в 5–10 раз дольше, поскольку оба медиатора удаляются из крови медленно — в течение 2–4 мин. Циркулирующий норадреналин вызывает сужение практически всех сосудов тела, усиливает активность сердца, тормозит деятельность желудочно-кишечного тракта, расширяет зрачки и др. Адреналин в связи с более выраженной стимуляцией  $\beta$ -рецепторов сильнее влияет на сердце, чем норадреналин, и значительно слабее оказывает суживающее влияние на кровеносные сосуды в мышцах. Это очень важное отличие. Поскольку мышечные сосуды составляют большую часть сосудов тела, то норадреналин значительно увеличивает общее периферическое сопротивление и повышает артериальное давление, тогда как адреналин повышает давление в меньшей степени, но существенно увеличивает сердечный выброс. Не менее важное отличие адреналина от норадреналина заключается в том, что он оказывает в 5 раз более длительный и более интенсивный (на 100%) метаболический эффект, например гликогенез в печени и в мышцах и освобождение глюкозы в кровь. Инактивация и утилизация излишнего количества адреналина и норадреналина происходят в печени [10,11,12].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воздействие внешних факторов на формирование адаптационных реакций организма человека / Н. А. Агаджанян, Г. М. Коновалова, Р. Ш. Ожева, Т. Ю. Уракова // Новые технологии. — 2010. — № 2. — С. 142–144.
2. Julian C. G. Human Genetic Adaptation to High Altitude: Evidence from the Andes / C. G. Julian, L. G. Moore // *Genes (Basel)*. — 2019. — Vol. 10, № 2. — P. 150.
3. Лопатина А. Б. Механизмы становления адаптации / А. Б. Лопатина // *Международ. науч. — исслед. журн.* — 2016. — № 6–5 (48). — С. 51–52.
4. Ушакова Г. А. Биофизические механизмы гравидарного гомеостаза / Г. А. Ушакова // *Мать и дитя в Кузбассе*. — 2014. — № 4. — С. 7–12.
5. Лунева О. В. Адаптация социальная / О. В. Лунева // *Знание. Понимание. Умение*. — 2018. — № 3. — С. 240–247.
6. Типологизация системной адаптации организма человека / Ю. А. Шатыр, С. В. Булатецкий, И. В. Улесикова [и др.] // *Рос. мед. — биол. вестн. им. акад. И. П. Павлова*. — 2017. — № 3. — С. 362–372.
7. Чурилов Л. П. Клинико-патолофизиологические размышления о здоровьей болезни. Сообщение I. Норма и здоровье / ЛП. Чурилов // *Вестн. МАН РФ*. — 2016. — № 1. — С. 21–29.
8. Елистратова И. В. Учебник Вертьянова С. Ю. «Общая биология. 10–11»: педагогический анализ / И. В. Елистратова, А. А. Елистратов // *Наука и перспективы*. — 2016. — № 2. — С. 41–62.
9. Лебедев И. Н. Эпигенетические аспекты нарушений эмбрионального развития человека / И. Н. Лебедев // *Экол. генетика*. — 2011. — Т. 9, № 3. — С. 15–19.
10. Биология: учеб. для студентов высш. учеб. заведений / под ред. акад. РАО Н. В. Чебышева. — М.: Мед. информ. агентство, 2016. — 640 с.
11. Деление клеток: учеб. пособие для студентов 1-го курса лечеб., педиатр., стоматол. фак. СтГМУ / М. Г. Гевандова, Э. Н. Мак
12. Random serum progesterone threshold to confirm ovulation / R. Leiva, T. Bouchard, H. Boehringer [et al.] // *Steroids*. — 2015. — Sep., № 101. — P. 125–129.

© Морозова Анастасия Сергеевна (asyatol97@mail.ru), Лабзина Маргарита Владимировна (LudmilaMedin@yandex.ru),  
 Морозов Максим Владимирович (morozov\_mv93@mail.ru), Кияева Татьяна Александровна (kiyeva.tanya.2002@gmail.com),  
 Сетьева Юлия Игоревна (setyeva-julia@rambler.ru), Кижаккина Софья Васильевна (skizhapkina@bk.ru),  
 Емельянов Андрей Александрович (booger.man2013@yandex.ru).  
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИКОБИОТЫ НЕКОТОРЫХ РАСТЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ АЗЕРБАЙДЖАНА В ПИЩЕВЫХ ЦЕЛЯХ

### GENERAL CHARACTERISTICS OF THE MYCOBIOTA OF SOME PLANTS USED FOR FOOD PURPOSES UNDER THE CONDITIONS OF AZERBAIJAN

**M. Yusifova**  
**M. Mammedaliyeva**  
**N. Akhundova**  
**A. Babashly**  
**S. Huseynli**

*Summary.* A study was made of the species composition, ecotrophic relationships, and activity of fungal hydrolytic enzymes involved in the formation of the mycobiota of cultivated plants for food purposes. It was revealed that 51 species of true fungi are involved in the formation of the mycobiota of about 10 plant species, and their distribution on individual plants is characterized by different quantitative indicators (from 11 to 19 species). 47.1–63.2% of the fungi involved in the formation of the mycobiota of the studied plants belong to species with varying degrees of toxic activity. The synthesis of enzymes with hydrolytic activity to one degree or another in almost all found fungi makes it possible to note their great pathogenic potential.

*Keywords:* food products, plants, mycobiota, species composition, ecotrophic relationships, toxigenicity, hydrolytic activity, pathogenicity factor.

**Юсифова Мехрибан Рауф кызы**

Доктор биологии по философии, заочный докторант (ДН), Институт Микробиологии Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики, г. Баку  
mqezalova@mail.ru

**Мамедалиева Марям Халыг кызы**

Доктор биологии по философии, диссертант (ДН), Институт Микробиологии Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики, г. Баку  
teryam77@mail.ru

**Ахундова Назиля Абдул кызы**

Доктор биологии по философии, заочный докторант (ДН), Институт Микробиологии Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики, г. Баку  
nazilya.akhundova@mail.ru

**Бабашилы Айнура Амирхан кызы**

Доктор биологии по философии, заочный докторант (ДН), Институт Микробиологии Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики, г. Баку  
aynurb@list.ru

**Гусейнли Севиндж Маариф кызы**

Магистр, Институт Микробиологии Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики, г. Баку  
azmbi@mail.ru

*Аннотация.* Проведено исследование видового состава, экотрофических связей и активности гидролитических ферментов грибов, участвующих в формировании микобиоты культурных растений пищевого назначения. Выявлено, что в формировании микобиоты около 10 видов растений участвует 51 вид настоящих грибов, а их распространение на отдельных растениях характеризуется разными количественными показателями (от 11 до 19 видов). 47,1–63,2% грибов, участвующих в формировании микобиоты исследованных растений, относятся к видам с той или иной степенью токсической активности. Синтез у практически всех обнаруженных грибов ферментов, обладающих в той или иной степени гидролитической активностью, позволяет отметить их большой патогенный потенциал.

*Ключевые слова:* пищевые продукты, растения, микобиота, видовой состав, экотрофические связи, токсигенность, гидролитическая активность, фактор патогенности.

Общеизвестно, что продукты растительного и животного происхождения составляют основу питания людей [6]. Хотя в последнее время в рационе людей наметилась тенденция увеличения удельного веса пищевых продуктов и пищевых добавок, полученных из бактерий и грибов, но продукты растительной и животной пищи по-прежнему составляют большую часть рациона людей, и эта ситуация также характерна для Азербайджана. Тем не менее, нутриенты, содержащиеся во всех продуктах, независимо от источника получения, благоприятны для других живых существ, в первую очередь микроорганизмов, и практически все производимые пищевые продукты в том или ином количестве содержат либо сами микроорганизмы, либо их метаболиты [16]. Появление этих веществ в пищевых продуктах в ряде случаев приводит к возникновению различных неприятных ситуаций (пищевые отравления, аллергические реакции, различные патологии и др.) [3, 7]. Предупреждение такого рода явлений, то есть обеспечение микробиологической безопасности сырья или полуфабрикатов, используемых при приготовлении пищевых продуктов, актуально всегда, но сегодня особенно.

Сырье, используемое для производства продуктов питания, отличается друг от друга по своему химическому составу [17]. С этой точки зрения продукты растительного происхождения характеризуются большим содержанием углеводов [1], чем другие, а их пищевая значимость определяется тем, что они играют роль источника энергии в организме, регулируют стабильность сахара в крови и т.д.

Основу продуктов растительного происхождения, включаемых в рацион человека, составляют зерновые, фруктовые, овощные, бахчевые и др. растения или полученное из них сырье. Оценка этих продуктов с санитарно-гигиенической точки зрения предполагает использование сырья, которое устарело, потеряло свою пищевую ценность и вкусовые качества, подверглось поражению вредителями и болезнями, а также обладает токсичностью, представляющее угрозу для здоровья человека.

Выращивание сырьевых источников, используемых для производства продуктов растительного происхождения, сбор готовой продукции, транспортировка, хранение на складах, переработка, хранение готовой продукции и др. процессы как правило проводят в микробиологически нестерильных условиях [9]. Это делает неизбежным их контакт с микроорганизмами на любой стадии указанных процессов. Проведенные исследования показывают, что микробиота растений многочисленна и разнообразна, а в её формировании активно участвуют патогенные, токсигенные и ал-

лергенные виды. Поэтому не вызывает сомнений, что обеспечение микробиологической безопасности растений, возделываемых для пищевых целей, является предметом постоянного внимания.

Известно, что первым шагом в решении любой проблемы является точное определение ее «участников», и в данном случае подлежащим уточнению основным участником является микробиота зерна, используемого в пищевых целях, и одной из первоначальных задач является оценка численного и видового состава микробиоты, а затем изучение других её свойств (физиологических, биохимических, экологических и др.), прежде всего ферментативной активности. Так, большое значение в процессах патогенеза и заселения микроорганизмов в субстрате имеют ферменты, катализирующие деградацию соединений клеточной стенки и субстрата. Так, в состав растений входят целлюлоза, лигнин, гемицеллюлоза, пектин, белок и др. полимеры, а эти полимеры в том или ином растении характеризуются разным количеством, механизмом биологического разложения и др. С этой точки зрения особый интерес представляют также ферменты, катализирующие деградацию этих полимеров [12]. Несомненно, что патогены, обладающие слабой ферментной системой или не способные синтезировать ферменты, катализирующие деградацию соединений, входящих в состав клеточной стенки растения-хозяина, реже имеют широкий ареал распространения и занимают слабую позицию в борьбе за выживание. Поэтому изучение в этом аспекте микроорганизмов, вызывающих различную патологию у растений, может открыть более широкие возможности в эффективном управлении активностью патогенов и иметь важное значение при разработке мероприятий по борьбе с ними.

По этой причине целью представленной работы явилось характеристика видового состава, а также активности гидролитических ферментов микробиоты ряда растений, используемых в пищевых целях в Азербайджане.

#### Материал и методы исследования

Исследования проводились в 2016–2022 гг. и для этого использовались образцы, отобранные из растительного сырья (пшеница, ячмень, кукуруза, томаты, фасоль, горох, сахарная свекла, подсолнечник и др.), предназначенного для пищевых целей, образцы были отобраны по сезонам, и их микробиота, точнее грибная биота анализировалась по численному и видовому составу, а также активности гидролитических ферментов.

Отбор образцов, подготовка их к посеву, посев на питательную среду, культивирование, выведение

Таблица 1. Таксономическая структура грибов, зафиксированных на исследованных растениях.

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род (вид)
Zygo-mycota	Mucoro-mycotina	Mucorales	Mucoraceae	Mucor (5) Rhizopus (1)
Asco-mycota icillium	Leotiomycetes	Helotiales	Sclerotiniaceae	Monilia (1), Botrytis (1)
		Erysiphales	Erysiphaceae	Sphaerotheca (1)
	Eurotium-mycetes	Eurotiales	Trichocomaceae	Aspergillus (5), Penicillium (9)
	Sordario-mycetes	Hypocreales	Nectriaceae	Fusarium (6)
			Hypocreaceae	Trichoderma (4) Trichothecium (1)
		Sordariomycetidae	Glomerellaceae	Colletotrichum (3)
			Plectosphaerellaceae	Verticillium (2)
	Dothideo-mycetes	Capnodiales	Davidiellaceae	Cladosporium (3)
			Mycosphaerellaceae	Septoria (3)
		Pleosporales	Pleosporaceae	Alternaria (3), Bipolaris (1), Ascochyta (1)
				Phoma (2)
		Botryosphaeriales	Botryosphaeriaceae	Phyllosticta (1)
		Bcero	19 (51)	

в чистую культуру осуществлялись согласно методам и подходам, принятым в микробиологии и микологии, а также использованным в работах различных авторов [8–10].

При выделении грибов в чистую культуру в качестве питательной среды использовали сусло-агар, агар Сабуро и другие стандартные питательные среды, а при изучении ферментативной активности грибы культивировали на жидкой среде Чапека при 28°C в течение 5 суток. Для оценки ферментативной активности использовали только культуральную жидкость (по активности экзоформ).

Идентификацию грибных культур проводили с помощью определителей [2, 11, 13, 16], основанных на культурально-морфологических и физиологических признаках, а систематизацию и номенклатуру грибов — по материалам Международной Микологической Ассоциации [14].

При изучении гидролитической (целлюлазной, амилазной, протеазной, пектиназной и др.) активности грибов, участвующих в формировании микробиоты изучаемых растений, использовали применяемые для этой цели известные методы и подходы [5].

В ходе исследования все эксперименты проводились в 4–6-ти повторностях, полученные результаты обрабатывались статистически [4], и как достоверные учитывались только, которые отвечали формуле  $m/M = P \leq 0,05$ .

### Полученные результаты и их обсуждение

Грибы, вызывая те или иные заболевания, влияют не только на продуктивность растений, но также в результате своей жизнедеятельности обогащают метаболитами получаемые из растений продукты, оседая в них при хранении, переработке и др. процессах, т.е. их действие на продукты пищевого назначения фиксируется как при их культивировании, так и при последующих процессах. В результате анализа около 400 образцов, взятых примерно с 10 исследованных видов растений, установлено, что в формировании их микробиоты участвует 51 вид настоящих грибов, относящихся к отделам Mucormycota и Ascomycota (табл. 1). Как видно, зарегистрированные грибы представлены разными видами, так виды, принадлежащие к таким родам, как *Rhizopus*, *Monilia*, *Botrytis*, *Sphaerotheca*, *Trichothecium*, *Bipolaris*, *Ascochyta* и *Phyllosticta*, представлены 1 видом, а роды *Phoma* и *Verticillium* представлены 2 видами. Количество видов, относящихся к остальным родам, колеблется от 3 до 9, а максимальным показателем характеризуются виды, относящиеся к роду *Penicillium*.

Наблюдаются различия при распределении грибов по растениям и наиболее богатой микробиотой среди исследованных растений характеризуется пшеница, так как в формировании ее микробиоты участвуют 19 из зарегистрированных грибов. В формировании микробиоты других растений участвуют 11–17 видов, при этом ячмень характеризуется наименьшей микробиотой.

Таблица 2. Удельный вес токсигенных видов среди грибов, зарегистрированных на отдельных растениях.

№	Вид исследуемого растения	Общее количество видов грибов	Токсигенные виды	
			Общее количество, ед.	Доля в общем количестве, %
1	Твердая пшеница	19	12	63,2
2	Мягкая пшеница	18	11	61,1
3	Ячмень	11	6	54,5
4	Кукуруза	16	9	56,3
5	Томат	17	8	47,1
6	Подсолнечник	12	6	50,0
7	Сахарная свекла	15	8	53,3
8	Фасоль	16	8	50,0
9	Горох	14	8	57,1
10	Баклажан	15	8	53,3

Таблица 3. Общая характеристика гидролитической активности грибов, обнаруженных на исследуемом материале.

Роды (количество штаммов)	Целлюлаза	Амилаза	Ксиланаза	Протеаза	Пектиназа	Липаза
Ascochyta (1)	0,62	0,52	14,7	2,75	1,6	0,03
Alternaria (3)	0,7–1,9	0,6–1,7	16,5–28,5	2,1–4,3	3,3–4,9	0,01–0,09
Aspergillus (5)	0,5–2,0	1,1–2,7	18,7–30,2	3,1–8,3	4,7–8,0	0,20–0,70
Bipolaris (1)	0,8	1,3	21,0	4,6	4,4	0,03
Botrytis (1)	0,4–0,6	0,01–0,07	20,1–22,4	0,7–1,3	1,3–2,1	0,01–0,05
Cladosporium (3)	0,4–1,1	0,5–1,1	15,6–21,1	0,2–1,2	2,3–3,5	0,02–0,08
Colletotrichum (3)	0,4–1,1	0,1–1,0	10,4–20,5	1,4–3,1	1,8–2,1	0,02–0,07
Fuzarium (6)	0,3–1,5	1,4–3,5	14,5–36,2	0,01–3,9	1,5–5,4	0,005–0,10
Monilia (1)	1,1	2,1	18,6	2,1	2,3	0,01
Mucor (5)	0,2–0,7	0,3–0,7	10,1–18,7	3,4–6,7	1,9–4,5	1,30–3,50
Penicillium (9)	0,5–1,8	0,01–2,3	12,5–29,0	2,2–5,4	3,2–7,4	0,01–0,20
Phoma (2)	0,7–1,1	0,8–1,8	14,5–19,8	2,3–3,7	4,4–5,0	0,15–0,41
Phyllosticta (1)	0,9	1,1	17,6	3,2	4,7	0,21
Rhizopus (1)	1,4	1,5	20,2	3,1	5,1	0,3
Septoria (3)	0,5–1,1	0,9–2,0	15,4–20,5	2,6–4,2	4,1–5,5	0,09–0,20
Sphaerotheca (1)	0,8	1,7	15,6	2,4	3,7	0,10
Trichoderma (4)	2,8–5,4	0,01–0,7	30,3–40,2	0,1–0,5	0,01–0,3	0,001–0,02
Trichothecium (1)	2,1	1,1	19,6	0,5	0,2	0,04
Verticillium (2)	0,4–1,6	1,1–1,6	17,8–25,6	3,2–5,9	0,9–1,2	0,01–0,07

Было бы уместно внести ясность в вопрос о количестве грибов, зарегистрированных на отдельных растениях. Эти цифры были бы более точными, если бы их характеризовали как минимально отражающие реальную ситуацию показатели, что связано с тем, что в исследованиях определялись до видового состава только те грибы, которые могли выделяться в чистую культуру и являлись в экотрофическом отношении факультативами. Ввиду того, что истинные биотрофы невозможно выращивать в чистой культуре на стандартных питательных средах, а также в возникновении нежелательных ситуаций слаба роль грибов, участвующих в формировании эпифитной микобиоты растений, поэтому данные грибы не были изучены. Это, в свою очередь, послужило основанием охарактеризовать количество видов грибов, участвующих в формировании специфичной для того или иного растения микобиоты, как минимального показателя.

Одним из важных моментов, требующих особого внимания при изучении грибов, формирующих микобиоту растений пищевого назначения, является количество токсигенов как проявление их экотрофической специализации. Так, продуцируемые в результате жизнедеятельности грибов некоторые вторичные метаболиты обладают высокотоксичным действием, а для некоторых даже неизвестен допустимый предел концентрации, не влияющих на здоровье человека. С учетом этого были проведены исследования по определению удельного веса токсигенов среди общего количества грибов, зарегистрированных на отдельных растениях. Полученные результаты показали, что 47,1–63,2% грибов, участвующих в формировании микобиоты изучаемых растений, относятся к видам с той или иной степенью токсической активности (табл. 2). Как видно, наибольший удельный вес токсигенов наблюдается у пшеницы, а наименьший — у томатов, что на наш взгляд, является особенностью, обусловленной химическим составом и биологическими свойствами этих растений.

Следует отметить, что все зарегистрированные в исследованиях грибы относятся к факультативным в экотрофическом отношении, поэтому все они в той или иной степени обладают патогенностью. Для реализации этой активности важно, чтобы грибной мицелий проникал в клетку растения-хозяина, а поскольку стенка растительной клетки имеет сложный полимерный состав, то ее элиминация происходит каталитическим

путем, т.е. для проникновения грибов вглубь клетки требует наличия у них сильной ферментативной системы. Учитывая это, было сочтено целесообразным охарактеризовать указанные грибы по ферментам, гидролизующим полисахариды клеточных стенок растений. Полученные результаты показали, что активность изучаемых ферментов обнаруживается у всех перечисленных грибов, но их уровни характеризуются разными количественными показателями (рис. 3).

Как видно, одни грибы отличаются от других конкретными, другие несколькими показателями активности. Например, активность ферментов целлюлазы и ксиланазы у грибов, принадлежащих к роду *Trichoderma*, высока по сравнению со всеми грибами, а активность амилазы наиболее высока у видов, принадлежащих к роду *Fusarium*. Различная активность в то же время позволяет отметить, что патогенная особенность этих грибов также будет различной. Встречающаяся у грибов в той или иной степени активность ферментов, катализирующих расщепление полимеров клеточной стенки растений, может отрицательно оцениваться, поскольку активность фермента является благоприятным показателем их проникновения в клетку и продолжения своей негативной деятельности.

При обобщенной характеристике ферментативной активности зарегистрированных грибов можно отметить, что у таких грибов как *Alternaria*, *Fusarium*, *Verticillium* и др. активность всех ферментов сбалансирована, что позволяет отметить у них сравнительно более высокую патогенность. Согласно нашим наблюдениям, а также литературным данным, патогенная активность грибов со сбалансированной ферментной системой по активности гидролаз выражается относительно высокими показателями, и в основном, это более ярко проявляется у факультативных грибов.

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлено, что некоторые растения, используемые в пищевых целях в Азербайджане, также являются одним из источников питания грибов. Среди грибов, участвующих в формировании микобиоты изучаемых растений, присутствуют факультативные и токсигенные в экотрофическом отношении, а тот факт, что все они обладают активностью гидролитических ферментов, катализирующих полисахариды полимеров клеточной стенки, позволяет отметить их большой патогенный потенциал.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алимов А.М., Закирова Л.А. Химия пищи — Казань: ФГБОУ ВО КГВМУ, 2018. — 55с.
2. Билай В.И., Курбацкая Э.А. Определитель токсинообразующих грибов. Киев: Наук. думка, 1990, 236 с.



3. Бузова Т.Е. Биологическая безопасность сырья и продуктов питания. Потенциально опасные вещества биологического происхождения: Учеб. пособие. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 136 с.
4. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006, 816 с.
5. Лабораторный практикум по технологии ферментных препаратов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982, 240 с.
6. Ламажапова, Г.П. Физиология питания. — М.: Мир науки., 2016. — 146 с.
7. Мельситова, И.В. Качество и безопасность продуктов питания: пособие. В 2 ч. Ч. 2. Безопасность продуктов питания / И.В. Мельситова. — Минск: БГУ, 2016. — 199 с.
8. Методы экспериментальной микологии (Под. ред. Билай В.И.) / Киев: Наукова думка, 1982, 500 с.
9. Мурадов, П.З., Ализаде, К.С., Магеррамова, М.Г. и др. Оценка продуктов пищевого назначения по микробиологическим показателям // Вестник МГОУ, Серия «Естественные науки», 2011, № 4, с.30–33
10. Нетрусов, А.И., Егорова, М.А., Захарчук, Л.М. и др. Практикум по микробиологии. — М.: Издательский центр «Академия», 2005, 608с.
11. Саттон Д. Фотергилл А., Ринальди М. Определитель патогенных и условно патогенных грибов. М: Мир, 2001, 468с.
12. Chang, H.X., Yendrek, C.R., Caetano-Anolles, G. et al. Genomic characterization of plant cell wall degrading enzymes and in silico analysis of xylanases and polygalacturonases of *Fusarium virguliforme*//BMC Microbiol., 2016, 16, 147. <https://doi.org/10.1186/s12866-016-0761-0>
13. Ellis M.B. Dematiaceous Hyphomycetes. C.M.J.: Kew, 1971, 608p.
14. Basic searching on MycoBank <http://www.mycobank.org/MycoTaxo.aspx>
15. Kirk P.M., Stalpers J.A. Dictionary of the fungi, 10th edn. CABI publishing / P.M. Kirk, P.F. Cannon, D.W. Minter. — Wallingford (UK), 2008, 600 p.
16. Lorenzo, J.M., Munekata, P.E., Dominguez, R. et al. Main Groups of Microorganisms of Relevance for Food Safety and Stability: General Aspects and Overall Description.// Innovative Technologies for Food Preservation. 2018, p.53–107.
17. Sharma, K.D., Karki, S., Thakur, N.S., Attri, S. Chemical composition, functional properties and processing of carrot-a review.//J Food Sci Technol., 2012, v.49 (1), p.22–32.

© Юсифова Мехрибан Рауф кызы ( mqezalova@mail.ru ), Мамедалиева Марям Халыг кызы ( meryam77@mail.ru ),

Ахундова Назиля Абдул кызы ( nazily.akhundova@mail.ru ), Бабашлы Айнур Амирхан кызы ( aynurb@list.ru ),

Гусейнли Севиндж Маариф кызы ( azmbi@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Баку

# УЛУЧШЕННЫЙ МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ГОЛОСОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

## IMPROVED SPEECH RECOGNITION METHOD FOR DEVELOPING A VOICE CONTROL SYSTEM

**E. Amiraslanov  
S. Saradgishvili  
T. Leontieva**

*Summary.* This paper discusses the issue of creating a voice control system, comparing modern recognition methods, and identifying the most effective and less resource-intensive approaches. Consideration of the issue of effective evaluation of these methods is one of the fundamental ones. The article also presents preliminary results of the developed system.

*Keywords:* speech recognition, hidden markov models, acoustic model, ASR.

**Амирасланов Эльмар Гейдар Оглы**

Аспирант, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
elmar0131@gmail.com

**Сараджишвили Сергей Эрикович**

К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
ssaradg@yandex.ru

**Леонтьева Татьяна Владимировна**

К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
leontieva\_tv@spbstu.ru

*Аннотация.* В данной работе рассматривается вопрос создания системы голосового управления, сравнение современных методов распознавания, и выявление наиболее эффективных и менее ресурсоемких подходов. Рассмотрение вопроса эффективного оценивания данных методов является одним из основополагающих. В статье так же представлены предварительные результаты разработанной системы.

*Ключевые слова:* распознавание речи, скрытые марковские модели, акустическая модель, ASR.

## Введение

Ежедневно появляются новые возможности по улучшению жизни человека и внедрению в неё новых технологий и систем, которые позволяют сделать её более комфортной. С каждым появлением новых технологий, производители задаются вопросом о новшествах, и одним из актуальных является создание систем распознавания голосовых команд. Важнейшим направлением при реализации автоматизированных систем является добавление голосовых помощников. Эти системы уже пользуются спросом: голосовое управление мобильных телефонов, внедрение в систему умного дома, облегчение жизни людей с ограниченными возможностями и т.д.

Существующее направление активно развивается в настоящее время и с каждым годом выходят новые технологические решения. Отсчет начала появления голосовых помощников ведется с 2011 года. Компании Google и Amazon одними из первых презентовали широкой публике свои продукты: Google Home и Alexa. Они представляли собой небольшой аппарат в виде колонки, который реагирует на обширный диапазон

голосовых команд, и исполняет роль посредника между пользователем и системой автоматизации домашних устройств.

Основная цель систем автоматического распознавания речи — преобразовать входной звуковой сигнал с определенной длиной в последовательность слов или символов. Акустические свойства формы сигнала, соответствующего фонеме, могут сильно различаться в зависимости от многих факторов. Рассмотрим наглядный пример работы системы распознавания речи: за основу берется звуковая дорожка, которая делится на семплы и затем вычисляется вектор признаков. Следующим этапом является анализ полученных векторов на уровне трех моделей — языкового, фонетического и акустического, для выявления набора наиболее подходящих комбинаций слов.

Наиболее распространенными методами распознавания речи являются: скрытые Марковские модели, нейронные сети, DTW алгоритмы. Задачи по распознаванию, решенные с помощью алгоритмов нейронных сетей, имеют огромное преимущество по сравнению с другими алгоритмами.

Процесс распознавания речи с использованием нейронных сетей выглядит следующим образом:

1. Акустический препроцессор обрабатывает входной речевой сигнал, и определяет последовательность векторов признаков, для каждого отрезка времени (семпл) и состоят они из спектральных или кепстральных коэффициентов, характеризующих отрезки речевого сигнала.
2. Далее полученные векторы подлежат сравнению с эталонными векторами, содержащимися в моделях слов.
3. С помощью метрик происходит временное выравнивание последовательностей векторов признаков с последовательностями эталонных векторов, образующими модели слов, а также вычисляется мера соответствия для компенсации изменений скорости произнесения и затем находится максимально соответствующее слово.

По мере увеличения размера словаря увеличивается только объем обучающего процесса, для этого нейронной сети придется тратить больше времени на обучение без изменения сложности этого процесса распознавания. Это преимущество позволяет использовать достаточно большое количество слов в словаре. Но у этого подхода есть и недостатки, одним из них является отсутствие внесения дополнений к словарю после окончания процесса обучения. Выход из этой ситуации — теория адаптивного резонанса, которая может быть использована для решения этой проблемы. То есть нейронные сети, построенные в рамках этой теории, позволяют нам сохранять гибкость при запоминании новых нейронных связей и в тоже время позволяют нам не затрагивать уже существующие связи.

Использование же скрытых Марковских моделей подходит для моделирования изменяющихся во времени спектральных векторных последовательностей. Большинство первых созданных систем распознавания речи использовали: СММ для моделирования состояния речи и смеси Гауссовских моделей для наблюдения состояния СММ. Это считалось прорывом в системах распознавания, прежде чем появились нейронные сети. В Марковских моделях для речевых распознаваний имеется два основных момента:

1. Речь может быть разделена на части, которые соответствуют состоянию в СММ, при этом характеристики речи в границах каждого фрагмента является постоянными.
2. Вероятность каждой части зависит только лишь от текущего состояния системы и никак не зависит от предыдущих состояний.

Так же необходимо создать кодовую книгу для реализации распознавания, на основе скрытых Марков-

ских моделей, которая содержит большое количество наборов речевых характеристик. Для решения этой задачи записывают участки эталонной речи, делят на простые компоненты и далее выводятся параметры каждого из характерных признаков. Единственному компоненту соответствует набор признаков среди большого количества предложенных вариантов в этом словаре.

Часть записанной речи делится на определенные сегменты, в которых речевые характеристики могут считаться неизменными. Затем вычисляют характеристики для всех речевых сегментов и далее выбирают запись кодовой книги с более оптимальными параметрами. Именно эти измерения данных записи формируют конкретную последовательность наблюдений для Марковской модели. Каждому из слов в словаре соответствует единственная последовательность.

### Разработанная система

Имеется два подхода при распознавании речи. Первый из них основывается на онлайн распознавание голоса. Большие компании: Google, Amazon, Samsung, Apple, Яндекс развивают рассматриваемый подход, в надежде выпустить свой продукт раньше конкурентов и завоевать рынок. Они используют в своих технологиях нейронную сеть. Ее суть заключается в передаче полученной пользователем фразы на сервер, дальнейшей ее обработкой и отсылкой ответа пользователю. Недостаток этого подхода — наличие постоянного Интернет-соединения.

Другие же компании, которые не имеют тех финансовых возможностей, используют подход попроще, а именно запись ключевых фраз и дальнейшее сравнение с ней проговариваемых пользователем запросов. Основным минусом такого подхода является трудоемкость всех операций с добавлением запросов в базу. Система голосового распознавания также требует и систему голосового вывода, ввиду того что, возвращаемый ответ от системы следует куда-то выводить. Благодаря созданию ответных симплов для пользователя, система работает в разы быстрее и стабильнее.

В качестве движка для системы распознавания речи была использована Kaldi Speech Recognition. С точки зрения алгоритмов и структур данных, применяемых для распознавания речи, вышеупомянутая система предоставляет большое количество современных подходов, таких как использование нейронных сетей и Гауссовых моделей на этапе акустического моделирования и использование конечных автоматов на этапе языкового моделирования. Система имеет модульную

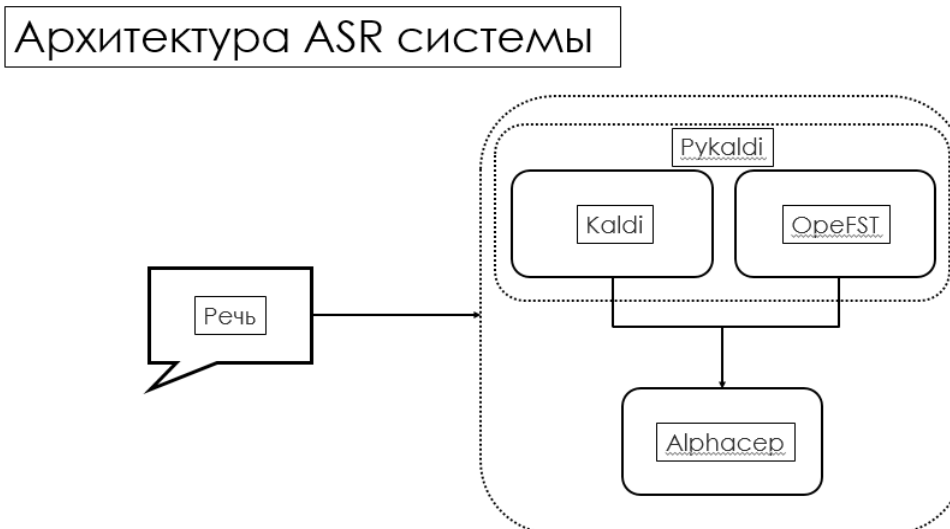


Рис. 1. Архитектура автоматизированной системы распознавания речи

структуру, что позволяет добавлять новый функционал без потери производительности.

Важнейшей задачей голосового модуля является управление системой не с помощью простых диалоговых команд, а использования тех команд, при которых алгоритм будет понимать повседневную речь пользователя. Для этого необходимо реализовать понимание естественного языка. При такой реализации система распознавания преобразовывает естественную речь в текстовый формат и уже в нем находит ключевые фразы.

Kaldi является технологией с открытым исходным кодом, а обеспечивает ей поддержку библиотека OpenFST. Вышеупомянутая библиотека позволяет технологии Kaldi работать эффективно, применяя комплексные решения.

Реализация программного обеспечения проходит на языке Python, в которой был использован скриптовый слой PyKaldi. В качестве распознавания речи при помощи использования акустической и языковой модели была использована русскоязычная система Alphacep. Сама система Kaldi хороша еще и тем, что в ней можно как прописывать отдельные фразовые команды, так и использовать нейронную сеть для улучшения распознавания речи.

Постоянное распознавание работает до тех пор, пока не произойдет соответствие произнесенной ключевой фразы с маркерами фраз, прописанными в базе данных, либо же пока пользователь не даст команду для прекращения работы голосового помощника. По-

сле того, как пользователь произнес фразу, голосовой модуль запускает процесс распознавания ключевой фразы и далее в текстовом формате передает ее в модуль выполнения команд. Архитектура системы распознавания представлена на Рис.1

### Анализ результатов

Весь модуль голосового управления был подключен к комплектующим системы управления «Умного дома» в офисном помещении. Вся система в офисе состоит из нескольких подсистем: подсистема управления освещением, подсистема управления персональным компьютером, подсистема управления системой видеонаблюдения. Управлять ими можно как с помощью отдельных команд, так и с помощью запуска сценариев, прописанных в системе. Так, для примера, в системе был реализован сценарий настройки рабочей среды. При произношении ключевой фразы, голосовой модуль передавал следующие команды системе: открытие в браузере часто используемых вкладок, снижение яркости экрана до среднего значения, отключение всех уведомлений и открытие необходимых для работы программ.

По точности системы будут сравниваться по наиболее распространенным метрикам: Word Recognition Rate (правильно распознанные слова); Word Error Rate (неправильно распознанные слова); Speed Factor (Скорость распознавания).

Вычисляются метрики по следующим формулам:

$$WER = \frac{S + I + D}{T}$$

Таблица 1.

Название технологии	WER,%	WRR,%	SF
Google Speech Recognition	4,3	95,7	0,45
Yandex SpeechKit	8,3	91,7	0,51
My Speech Recognition	6,5	93,5	0,6

$$WRR = 1 - WER$$

где  $S$  — число операций замены слов,  $I$  — число операций вставки слов

$D$  — число операций удаления слов из распознанной фразы

$T$  — число слов в исходной фразе

$$SF = \frac{T_{расп}}{T}$$

где  $T_{расп}$  — время распознавания сигнала,  $T$  — длительность сигнала

Подводя итоги, можно сказать, что все системы показывают результаты примерно на одном уровне (продемонстрированы в Таблице 1), и разработанный голосовой модуль не сильно уступал аналогам из больших компаний. Но при этом Yandex SpeechKit и Google Speech Recognition — являются закрытыми системами, которые работают на чужих серверах и недоступны для модификаций под собственные нужды пользователя. Тем временем созданную систему распознавания мож-

но спокойно своими руками адаптировать под особенности решаемых задач.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате данной работы была разработана система голосового управления. Описанная система в настоящее время используется в офисном помещении и полностью выполняет поставленные задачи.

Основной упор при реализации был сделан на дистанционное управление с помощью диалоговых команд. В системе реализована функция обратной связи с пользователем, и выполнение каждого запроса сопровождается звуковым подтверждением.

В дальнейшей перспективе предполагается развитие системы с целью ее усовершенствования. Будет вестись работа над созданием и внедрением пользовательского интерфейса в общее приложение управления системой Умного дома, а также над автоматизацией настройки голосового помощника под задачи каждого пользователя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Voicehd: Hyperdimensional computing for efficient speech recognition / Imani Mohsen, Kong Dekian, Rosing Tajana // IEEE International Conference on Rebooting Computing. — с: IEEE, 2017. — С. 1–8.
2. Geoffrey Hinton, Li Deng, Dong Yu, George Dahl, Abdel-rahman Mohamed, Navdeep Jaitly, Andrew Senior, Vincent Vanhoucke, Patrick Nguyen, Tara Sainath, and Brian Kingsbury Deep Neural Networks for Acoustic Modeling in Speech Recognition — IEEE, Signal Processing Magazine, 2012
3. An Open Source Machine Learning Framework for Everyone // TensorFlow. — [Электронный ресурс] URL: <https://www.tensorflow.org/>
4. Graves A., Mohamed A., Hinton G. Speech recognition with deep recurrent neural networks // Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Piscataway: IEEE, 2013. P. 6645–6649
5. Беленко М.В., Балакшин П.В. Сравнительный анализ систем распознавания речи с открытым кодом // МНИЖ. 2017. № 4–4 (58)
6. Гапочкин, В.А. Нейронные сети в системах распознавания речи. / В.А. Гапочкин // "Science time". — 2014, № 1. — С. 29–36
7. Алимуратов, А.К. Обзор и классификация методов обработки речевых сигналов в системах распознавания речи. / А.К. Алимуратов и [др]. // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. — 2015, № 2. — С. 27–35
8. Карпов Алексей Анатольевич, Кипяткова Ирина Сергеевна. Методология оценивания работы систем автоматического распознавания речи // Приборостроение. 2012. № 11
9. Документация системы распознавания речи Kaldi. [Электронный ресурс] URL: <https://kaldi-asr.org/doc/>
10. Использование MQTT протоколов и их предназначение [Электронный ресурс]: URL: <https://ipc2u.ru>
11. Вишнякова О.А., Лавров Д.Н. Применение преобразования Гильберта-хуанга к задаче сегментации речи // Математические структуры и моделирование. 2011. вып. 24. С. 12–18

COMPARISON OF CHARGING METHODS  
FOR CAPACITIVE ENERGY STORAGE<sup>2</sup>*R. Bashmakov*

*Summary.* In light of the development of areas such as wireless sensor networks and IoT, the question arises of efficient energy storage using small, efficient and rechargeable autonomous power sources — supercapacitors. This article explores the issue of charging such capacitive energy storage devices. For the first time, an analytical comparison of charges with constant current, constant voltage and constant power was made for a limited time and maximum charging power. A method for evaluating the efficiency of the charging process is proposed, using a simulation model that takes into account the current consumed by the load, the power of the power source and the charging time.

*Keywords:* wireless networks, sensor networks, Internet, charging of capacitive energy storage devices.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ЗАРЯДКИ  
ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ  
ЭНЕРГИИ<sup>1</sup>*Башмаков Роман Андреевич*

*Соискатель, Северо-Кавказский федеральный университет  
bashmakov\_r@inbox.ru*

*Аннотация.* В свете развития таких областей, как беспроводные сенсорные сети и IoT, возникает вопрос об эффективной аккумуляции энергии с помощью маленьких, эффективных и заряжаемых источников автономного питания — суперконденсаторов. В данной статье исследуется вопрос зарядки таких емкостных накопителей энергии. Впервые произведено аналитическое сравнение зарядок с постоянным током, постоянным напряжением и постоянной мощностью при ограниченном времени и максимальной мощности зарядки. Предложен метод оценки эффективности процесса зарядки, использующий имитационную модель, учитывающую потребляемый нагрузкой ток, мощность источника питания и время зарядки.

*Ключевые слова:* беспроводные сети, сенсорные сети, интернет, зарядка емкостных накопителей энергии.

Последнее время беспроводные сенсорные сети (Wireless Sensor Networks, WSN) привлекают много внимания благодаря своей универсальной природе и широкому применению в киберфизических системах [1], Интернете вещей [2] и других новых областях [3]. WSN используются во многих приложениях, включая мониторинг окружающей среды, отслеживание объектов, сети транспорта, обнаружение пожаров и беспроводные сети для медицинских систем. В результате коммерческое использование WSN быстро увеличивается [4].

WSN состоит из большого числа статических сенсорных узлов с ограниченными возможностями питания, которые часто общаются по радиосвязи [5, 6]. Узлы датчиков имеют несколько встроенных датчиков, которые могут делать измерения, таких как температура и влажность.

Обычно, когда батарея беспроводного сенсора разрядится, WSN больше не сможет выполнять свои функции, если источник энергии не будет заменен. Большая часть исследований по WSN предполагает использование ограниченного источника энергии для питания датчиков и фокусируется на минимизации потребления энергии для продления срока службы сети. Беспроводная сенсорная сеть, не зависящая от ограниченного источника питания, фундаментально обладает бесконечным сроком службы. Это подтолкнуло поиск альтернативного источника энергии для питания WSN, особенно для приложений, требующих внедрения датчиков на длительные периоды, когда замена батареи невозможна или нецелесообразна. Идеальная WSN работает на энергии, которую можно собирать, что называется сбором энергии (energy harvesting) WSN (EHWSN), сбором энергии из окружающей среды, солнечным сбором энергии WSN (Solar EH-WSN, SEH-WSN),

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20–38–90093.

<sup>2</sup> The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific project No. 20–38–90093.

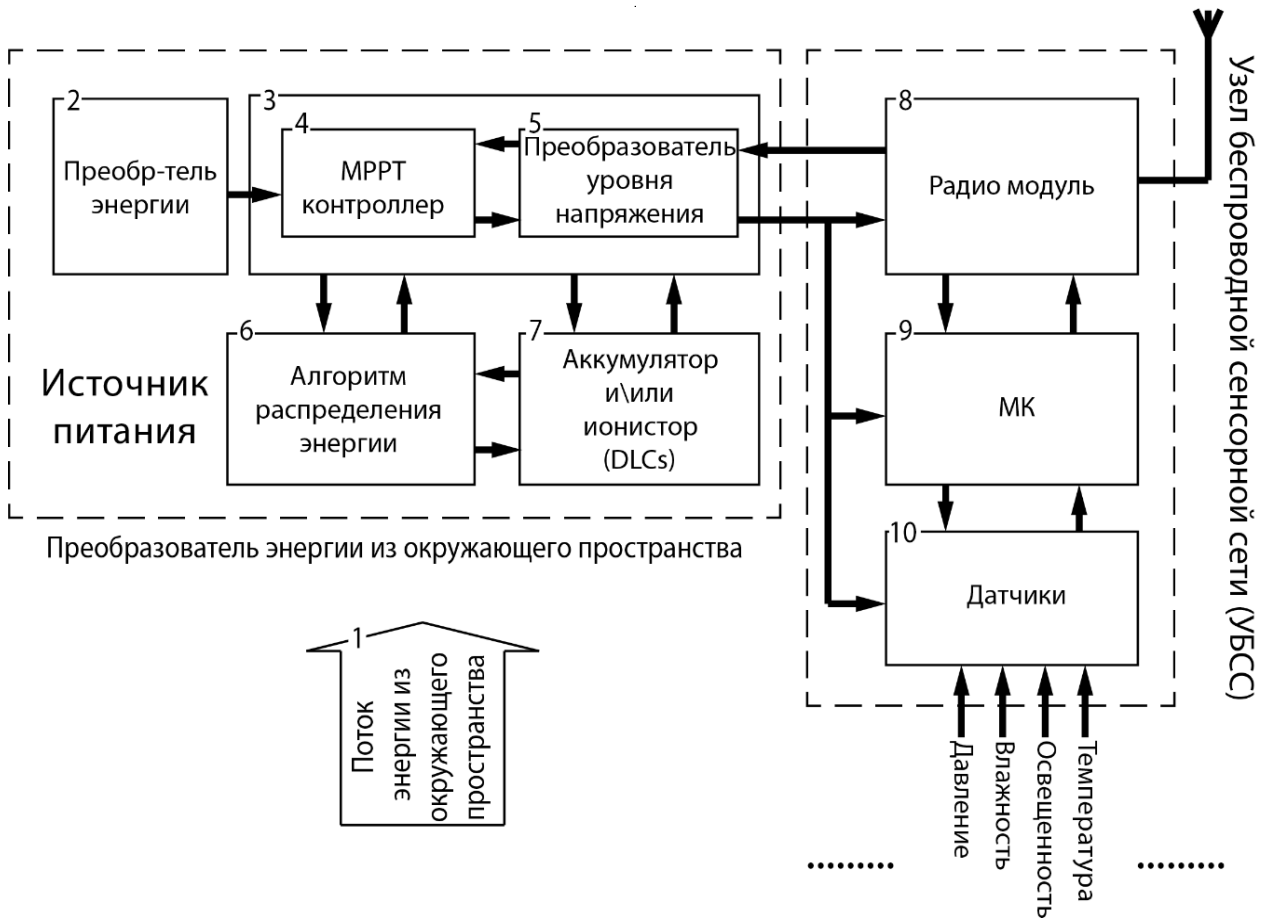


Рис. 1. Схема узла WSN, абсорбирующего энергию окружающей среды

сбором энергии для интернета вещей (EH-IoT), беспроводные сенсорные сети, работающие на энергии, полученной из окружающей среды (WSN-HEAP), беспроводные сети телесного обнаружения (WSNs for health care systems, WBANs), предназначенные для систем здравоохранения, использующие энергию из окружающей среды, а также WSN, работающие на энергии, извлекаемой из различных источников (энергия от солнца, энергия движения и т.д.), безбатарейные, с применением обратного рассеивания и т.д. [7, 8, 9]. Общая архитектура беспроводных сенсорных сетей показана на Рис. 1.

В данной статье автор представляет математическую модель зарядки конденсатора при постоянном источнике питания и предлагает методика для продления жизненного цикла датчика WSN путем определения оптимального способа зарядки в условии восполнения энергетических запасов.

Рассмотрим уравнения зависимости мощностей от времени при зарядке от трех видов источников ЭДС: постоянного напряжения (ЗПН), постоянного тока (ЗПТ) и постоянной мощности (ЗПМ).

Мощность  $W_{constE}$  источника ЭДС при ЗПН:

$$W_{constE} = I(t) \cdot E |_{E=const} \quad (1)$$

где

$$I(t) = \frac{(E - U_c(t))}{R} \quad (2)$$

$$U_c = E \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (3)$$

Из (1) — (3)

$$W_{constE} = \frac{(E - E(1 - e^{-\frac{t}{RC}}))}{R} \cdot E = \frac{E^2}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (4)$$

При  $E > 0$  производная  $W_{constE}$  по времени всегда отрицательная:

$$\forall E \in (0, \infty), \frac{dW_{constE}}{dt} = -\frac{E^2}{CR^2} e^{-\frac{t}{CR}} < 0 \quad (5)$$

Следовательно,  $W_{constE}$  монотонно убывает во время зарядки. Тогда функция (4) имеет максимум  $W_{constE_{max}}$  при  $t = 0$ :

$$W_{constE_{max}} = W_{constE}(t = 0) = \frac{E^2}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \Big|_{t=0} = \frac{E^2}{R} \quad (6)$$

При этом источник ЭДС не может отдавать в электрическую цепь больше энергии, чем к нему поступает от внешней среды, то есть с учетом (6):

$$W_{constE_{max}} = \frac{E^2}{R} \Big|_{E=E_{max}} \leq W_{ambient} \quad (7)$$

где  $W_{ambient}$  — мощность, соответствующая энергии окружающей среды, доступной для преобразования в данный момент.

Мощность  $W_{constI}$  источника ЭДС при ЗПТ:

$$W_{constI} = I \cdot E_I(t) \Big|_{I=const} \quad (8)$$

где напряжение  $E_I(t)$  на выходе источника ЭДС согласно закону Ома для полной цепи:

$$E_I(t) = U_C(t) + IR \quad (9)$$

Если принять емкость накопителя  $C = const$ :

$$U_C(t) = \frac{Q(t)}{C} \quad (10)$$

где  $Q(t)$  — электрический заряд, протекающий от одной обкладки емкостного накопителя к другой в процессе зарядки:

$$Q(t) = I \cdot t \quad (11)$$

Искомое выражение для  $W_{constI}$  с учетом (8) — (11):

$$W_{constI} = I \cdot \left( \frac{I \cdot t}{C} + IR \right) = \frac{I^2}{C} \cdot (t + RC) \quad (12)$$

В отличие от случая зарядки с постоянным напряжением, мощность источника ЭДС при зарядке с постоянным током монотонно возрастает:

$$\forall I \in (0, \infty), \frac{dW_{constI}}{dt} = \frac{I^2}{C} > 0 \quad (13)$$

Следовательно, максимальное значение  $W_{constI_{max}}$  функция (12) принимает в конце процесса зарядки в момент  $t = t_{end}$ :

$$W_{constI_{max}} = \frac{I^2}{C} \cdot (t_{end} + RC) \quad (14)$$

Аналогично (6) для зарядки с постоянным током максимальная мощность  $W_{constI_{max}}$  не может превышать  $W_{ambient}$ :

$$W_{constI_{max}} = \frac{I^2}{C} \cdot (t_{end} + RC) \leq W_{ambient} \quad (15)$$

Для корректного сравнения необходимо рассмотреть процессы зарядок разного типа при одинаковых условиях, поэтому примем

$$W_{constI_{max}} = W_{constE_{max}} = W_{ambient} = W \quad (16)$$

Максимальный ток зарядки  $I_{max}$  для ЗПТ найдем из (15) с учетом (16):

$$W = \frac{I^2}{C} \cdot (t_{end} + RC) \Big|_{I=I_{max}} \quad (17)$$

где  $t_{end}$  получим подстановкой ожидаемого окончательного напряжения  $U_{C_{end}}$  при зарядке с постоянной мощностью [10]:

$$t_{end} = f(U_{C_{end}}) = \frac{U_{C_{end}} \sqrt{4RW + U_{C_{end}}^2} + 4RW \sinh^{-1} \left( \frac{U_{C_{end}}}{2\sqrt{RW}} \right) + U_{C_{end}}^2}{8RW} \cdot 2RC \quad (18)$$

$$I_{max} = \sqrt{\frac{WC}{(t_{end} + RC)}} = \sqrt{\frac{WC}{(f(U_{C_{end}}) + RC)}} \quad (19)$$

Максимальное напряжение при ЗПН найдем из (7) с учетом (16):

$$E_{max} = \sqrt{WR} \quad (20)$$

Тогда мощность ЗПН из (4) и (20):

$$W_{constE} = \frac{E_{max}^2}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = W \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (21)$$

Мощность ЗПТ из (12) и (19):

$$W_{constI} = \frac{I_{max}^2}{C} \cdot (t + RC) = W \frac{(t + RC)}{(f(U_{C_{end}}) + RC)} \quad (22)$$

В случае работы электронного устройства в автономном режиме наиболее важным представляется способность использовать максимальное количество доступной энергии окружающей среды. Вычислим эффективность  $K$  путем сравнения энергии  $A_{util}$ , затраченной во время зарядки, и энергии  $A_{ambient}$ , которая была доступна на протяжении рассматриваемого периода от 0 до  $t_{end}$  если  $W_{ambient} = const$ :

$$K = \frac{A_{util}}{A_{ambient}} \quad (23)$$

где

$$A_{ambient} = \int_0^{t_{end}} W_{ambient} dt = W \cdot t_{end} \quad (24)$$

При ЗПН, с учетом (21):



Таблица 1. Соотношения для рассматриваемых методов зарядки

	ЗПМ	ЗПТ	ЗПН
Мощность источника ЭДС в течение зарядки	$W$	$W \frac{(t + RC)}{(f(U_{C_{end}}) + RC)}$	$W \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$
Итоговая энергия, затраченная источником ЭДС за время зарядки	$W \cdot t_{end}$	$W t_{end} \frac{(t_{end} + 2RC)}{2(t_{end} + RC)}$	$WRC \left(1 - e^{-\frac{t_{end}}{RC}}\right)$
Доля энергии, затраченной ЭДС за время зарядки, от всей доступной энергии окружающей среды за тот же период	1	$\frac{(t_{end} + 2RC)}{2(t_{end} + RC)}$	$\frac{RC}{t_{end}} \left(1 - e^{-\frac{t_{end}}{RC}}\right)$

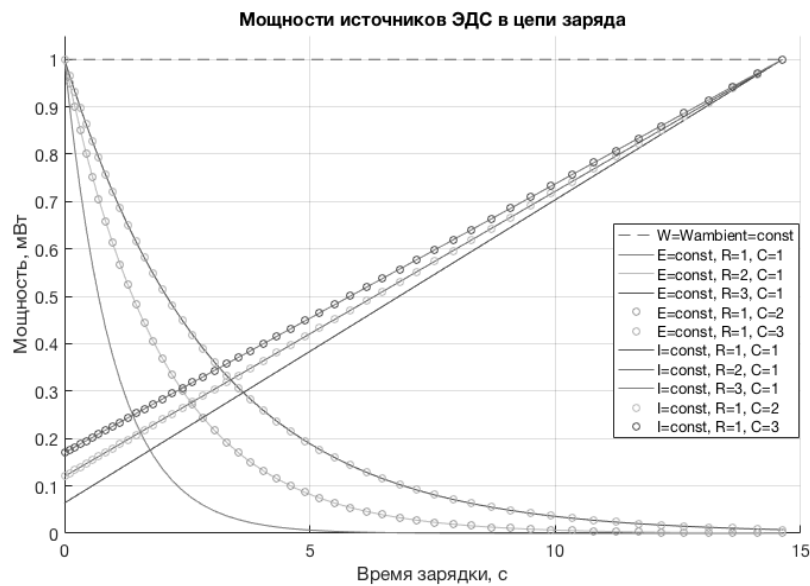


Рис. 2. Графическое сравнение ЗПН, ЗПТ и ЗПМ

$$A_{utilconstE} = \int_0^{t_{end}} W_{constE} dt = \int_0^{t_{end}} W \cdot e^{-\frac{t}{RC}} dt = WRC \left(1 - e^{-\frac{t_{end}}{RC}}\right) \quad (25)$$

$$K_{constE} = \frac{A_{utilconstE}}{A_{ambient}} = \frac{WRC \left(1 - e^{-\frac{t_{end}}{RC}}\right)}{W t_{end}} = \frac{RC}{t_{end}} \left(1 - e^{-\frac{t_{end}}{RC}}\right) \quad (26)$$

При ЗПТ, с учетом (22):

$$A_{utilconstI} = \int_0^{t_{end}} W_{constI} dt = \int_0^{t_{end}} W \frac{(t + RC)}{(t_{end} + RC)} dt = W t_{end} \frac{(t_{end} + 2RC)}{2(t_{end} + RC)} \quad (27)$$

$$K_{constI} = \frac{A_{utilconstI}}{A_{ambient}} = \frac{W t_{end} \frac{(t_{end} + 2RC)}{2(t_{end} + RC)}}{W t_{end}} = \frac{(t_{end} + 2RC)}{2(t_{end} + RC)} \quad (28)$$

Итоговое сравнение рассмотренных типов зарядки приведены в таблице 1:

Графо-аналитическое сравнение ЗПМ, ЗПТ и ЗПН в соответствии с ограничением по мощности, получаемой узлом БСС от ПУДАБЗ, приведено на рисунке:

Полная энергия, затраченная источниками ЭДС, равна площади под соответствующим графиком на Рис. 2. Несмотря на то, что ЗПТ является оптимальным с точки зрения эффективности использования затрачиваемой энергии, но на Рис. 2 видно, что наиболее полно энергия окружающей среды используется при ЗПМ, что в условиях автономного питания является ключевым. При этом мощность источника ЭДС при ЗПТ монотонно возрастает и имеет локальный максимум, совпадающий с

$W_{ambient}$  только в конце процесса зарядки, а при ЗПН — монотонно убывает, принимая максимальное значение в точке, соответствующей короткому замыканию, поэтому является разрушительным и неэффективным.

### Заключение

В заключении можно отметить, что разработанная в данной статье математическая модель зарядки конденсатора при постоянном источнике питания является важным шагом в направлении продления жизненного цикла датчиков WSN. Оптимальная зарядка конденсато-

ра позволяет эффективно использовать энергию и восстанавливать запасы энергии в системе. Данный метод может быть использован для различных приложений, таких как мониторинг окружающей среды, отслеживания объектов, детектирования пожаров и т.д. Таким образом, данная работа может быть полезной для исследователей и разработчиков, которые занимаются созданием и оптимизацией систем WSN. Полученные результаты могут быть использованы для разработки эффективных систем управления энергией для WSN, что в свою очередь позволит продлить жизненный цикл датчиков и повысить надежность системы в целом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Wu, Fang-Jing, Yu-Fen Kao and Yu-Chee Tseng, *Pervasive and Mobile computing* 7 (4), 397–413 (2011).
2. G. Jayavardhana et al., *Future generation computer systems* 29 (7), 1645–1660 (2013).
3. B. Tarun et al., *Int. J. Eng. Technol* 7 (2), 53–55 (2018) .
4. A. Ali, Y. Ming, S. Chakraborty and S. Iram, *Future internet* 9 (4), 77 (2017) .
5. I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, *Comput Netw* 38 (4), 393–422 (2002) .
6. P. Baronti, P. Pillai, V.W. Chook, S. Chessa, A. Gotta and Y.F. Hu, *Comput Commun* 30 (7), 1655–95 (2007) .
7. B. Abdelmalek, F. Didi and I. Bambrik. *Wireless Networks* 25 (6), 3029–3046 (2019) .
8. Sh. Himanshu, A. Haque and Z.A. Jaffery, “An efficient solar energy harvesting system for wireless sensor nodes”, in ICPEICES 2018.
9. Seah, Winston KG, Zhi Ang Eu, and Hwee-Pink Tan, “Wireless sensor networks powered by ambient energy harvesting (WSN-HEAP) -Survey and challenges”, in 1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology (2009) .
10. Башмаков Р.А., Олейников Д.Н., Федоренко В.В. Математическое моделирование процессов энергопотребления узла беспроводной сенсорной сети при пополнении заряда // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Т. 1679. DOI: 10.1088/1742–6596/1679/5/052068.

© Башмаков Роман Андреевич ( bashmakov\_r@inbox.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СОЗДАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В АСУ ТП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

## CREATING A SIMULATION MODEL OF SOFTWARE TESTING PROCESSES IN AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES USING QUEUING THEORY

A. Bukarev

*Summary.* This article describes the process of creating a simulation model of software testing processes in an automated control system for technological processes (ACS TP) using queuing theory and the Monte Carlo method in Python programming language. The article covers module testing, automated testing using a prototype, manual testing using a prototype, as well as automated testing using a prototype and remote procedure call. The research objectives are aimed at optimizing the testing process and improving the quality and reliability of software. Four tasks were set and solved to achieve these goals. The article also describes the simulation results, which showed that using queuing theory and the Monte Carlo method to create a simulation model is an effective way to optimize the testing process and improve the quality and reliability of software in ACS TP.

*Keywords:* software testing, simulation model, automated testing, manual testing, remote procedure call.

**Букарев Антон Владимирович**

Соискатель, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»

anton@bukarev.org

*Аннотация.* Данная статья описывает процесс создания имитационной модели процессов тестирования программного обеспечения в автоматизированной системе управления технологическими процессами (АСУ ТП) с использованием теории массового обслуживания и метода Монте-Карло на языке программирования Python. В статье рассматриваются модульное тестирование, автоматизированное тестирование с помощью прототипа, ручное тестирование с помощью прототипа, а также автоматизированное тестирование с помощью прототипа и вызова удаленных процедур. Цели исследования заключаются в оптимизации процесса тестирования и улучшении качества и надежности программного обеспечения. В статье также описываются результаты моделирования, которые показали, что использование теории массового обслуживания и метода Монте-Карло для создания имитационной модели является эффективным способом для оптимизации процесса тестирования и повышения качества и надежности программного обеспечения в АСУ ТП.

*Ключевые слова:* тестирование программного обеспечения, имитационная модель, автоматизированное тестирование, ручное тестирование, вызов удаленных процедур.

## Введение

**П**роцесс тестирования программного обеспечения (ПО) в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) является критически важным для обеспечения надежной и эффективной работы системы в целом. Однако, управление процессом тестирования ПО в АСУ ТП является сложной задачей, требующей оптимального использования ресурсов и времени.

Целью данного исследования является разработка имитационной модели процессов тестирования ПО в АСУ ТП с использованием теории массового обслуживания и метода Монте-Карло, а также определение оптимальных стратегий тестирования для улучшения качества и надежности ПО и оптимизации процесса тестирования в АСУ ТП.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- ♦ Рассмотреть четыре метода тестирования ПО: модульное тестирование, автоматизированное тестирование с помощью прототипа, ручное тестирование с помощью прототипа и автоматизированное тестирование с помощью прототипа и вызова удаленных процедур.
- ♦ Использовать теорию массового обслуживания и метод Монте-Карло для разработки имитационной модели процессов тестирования ПО в АСУ ТП.
- ♦ Определить параметры модели, такие как среднее время выполнения тестов, среднее время ожидания в очереди и пропускную способность системы.
- ♦ Проверить разработанную модель на соответствие реальным данным и использовать ее для

оценки времени, необходимого для проведения тестирования, а также для определения оптимальных стратегий тестирования.

Методом исследования данной работы является разработка имитационной модели процессов тестирования ПО в АСУ ТП с использованием теории массового обслуживания и метода Монте-Карло. Такой метод позволит оптимизировать процесс тестирования ПО в АСУ ТП и определить оптимальные стратегии тестирования, что, в свою очередь, улучшит качество и надежность ПО и обеспечит более эффективную работу системы в целом.

### Современные методы тестирования программного обеспечения

Разработка имитационной модели процессов тестирования ПО в АСУ ТП является важной задачей, которая требует учета различных методов тестирования ПО. В данной статье рассмотрены четыре метода тестирования ПО: модульное тестирование, автоматизированное тестирование с помощью прототипа, ручное тестирование с помощью прототипа и автоматизированное тестирование с помощью прототипа и вызова удаленных процедур.

Модульное тестирование — это метод тестирования ПО, который заключается в тестировании отдельных модулей программы. Этот метод позволяет обнаружить ошибки на ранних стадиях разработки и уменьшить время, необходимое для исправления ошибок. В процессе модульного тестирования проводится тестирование каждой функции и подпрограммы программы на корректность их работы, а также проверка соответствия ожидаемых и фактических результатов работы программы.

Автоматизированное тестирование с помощью прототипа — это метод тестирования ПО, который заключается в автоматическом выполнении тестов на основе прототипа ПО. Этот метод позволяет ускорить процесс тестирования и уменьшить вероятность человеческих ошибок, а также позволяет легко повторять тесты в различных конфигурациях. В процессе автоматизированного тестирования с помощью прототипа создается прототип ПО, на основе которого генерируются тесты, и автоматически выполняются тесты на соответствие ожидаемым результатам. [1] [2]

Ручное тестирование с помощью прототипа — это метод тестирования ПО, который заключается в ручном выполнении тестов на основе прототипа ПО. Этот метод позволяет обнаружить ошибки, которые не могут быть

обнаружены автоматическими средствами тестирования, такими как недостатки в интерфейсе пользователя или неожиданное поведение программы. В процессе ручного тестирования с помощью прототипа тестировщик выполняет тесты на соответствие ожидаемым результатам, а также проверяет работу программы на соответствие требованиям заказчика.

Автоматизированное тестирование с помощью прототипа и вызова удаленных процедур — это метод тестирования ПО, который заключается в автоматическом выполнении тестов на основе прототипа ПО и вызова удаленных процедур. Этот метод позволяет тестировать функциональность программы, которая взаимодействует с удаленными серверами, такими как базы данных или другие системы. В процессе автоматизированного тестирования с помощью прототипа и вызова удаленных процедур, создается прототип ПО, который взаимодействует с удаленными серверами, и автоматически выполняются тесты на соответствие ожидаемым результатам.

Каждый из этих методов тестирования ПО имеет свои преимущества и недостатки, и выбор метода зависит от характеристик ПО, которое требуется протестировать, а также от требований заказчика. [3] [4]

Разработка имитационной модели процессов тестирования ПО в АСУ ТП с использованием теории массового обслуживания и метода Монте-Карло позволяет управлять процессом тестирования, определять оптимальные стратегии тестирования и улучшать качество и надежность ПО. В следующей части статьи будет описано, каким образом используются теория массового обслуживания и метод Монте-Карло для разработки имитационной модели процессов тестирования ПО в АСУ ТП.

### Разработка имитационной модели

Для решения задачи по разработке имитационной модели процессов тестирования ПО в АСУ ТП с использованием теории массового обслуживания и метода Монте-Карло был использован язык программирования Python. Python был выбран из-за своей простоты и эффективности в моделировании и анализе данных.

Для создания модели были использованы следующие шаги:

- ♦ Определение параметров модели, таких как время выполнения теста, среднее время между запросами на тестирование, количество каналов и время ожидания в очереди.

- ◆ Создание классов для моделирования сущностей, таких как запросы на тестирование, каналы тестирования и очереди.
- ◆ Создание функций для генерации запросов на тестирование и выполнения тестов.
- ◆ Создание модели с использованием библиотеки SimPy.
- ◆ Запуск моделирования и анализ результатов. [5] [6]

Разработанная модель может быть использована для моделирования различных сценариев тестирования ПО в АСУ ТП, включая различные стратегии тестирования, количество каналов и другие параметры.

Код для имитационной модели процессов тестирования ПО в АСУ ТП с использованием теории массового обслуживания и метода Монте-Карло на языке Python может выглядеть следующим образом:

```
import simpy
import numpy as np
import pandas as pd

# Определение параметров модели
test_time = 10 # время выполнения одного теста (минуты)
mean_interarr = 5 # среднее время между запросами на тестирование (минуты)
num_channels = 2 # количество каналов
wait_time = 2 # время ожидания в очереди (минуты)

class Request:
    def __init__(self, env):
        self.env = env

    def request_process(self, channel):
        yield self.env.timeout(np.random.exponential(mean_interarr))
        start = self.env.now
        with channel.request() as req:
            yield req
            yield self.env.timeout(np.random.exponential(test_time))
        end = self.env.now
        return (end - start)

class TestSystem:
    def __init__(self, env, num_channels, wait_time):
        self.env = env
        self.channel = simpy.Resource(env, capacity=num_channels)
        self.queue = simpy.Resource(env, capacity=1)
        self.wait_time = wait_time
```

```
self.results = []

def run_test(self, request):
    with self.queue.request() as req:
        yield req
        yield self.env.timeout(self.wait_time)
        time = yield self.env.process(request.request_process(self.channel))
        self.results.append(time)
```

```
# Создание модели
def run_simulation(mean_interarr, num_channels, wait_time):
    env = simpy.Environment()
    request = Request(env)
    test_system = TestSystem(env, num_channels, wait_time)
    env.process(test_system.run_test(request))
    env.process(test_system.run_test(request))
    env.process(test_system.run_test(request))
    env.process(test_system.run_test(request))
    env.run(until=100)
```

```
# Анализ результатов
results_df = pd.DataFrame(test_system.results, columns=["test_time"])
return (results_df["test_time"].mean(), results_df["test_time"].std())
```

```
# Запуск моделирования и анализ результатов
mean_time, std_time = run_simulation(mean_interarr, num_channels, wait_time)
print («Среднее время выполнения теста:», mean_time, «минут»)
print («Стандартное отклонение времени выполнения теста:», std_time, «минут»)
```

В этом коде определены следующие параметры модели:

- ◆ *test\_time* — время выполнения одного теста (минуты).
- ◆ *mean\_interarr* — среднее время между запросами на тестирование (минуты).
- ◆ *num\_channels* — количество каналов.
- ◆ *wait\_time* — время ожидания в очереди (минуты).

Затем определены классы *Request* и *TestSystem*, которые моделируют запрос на тестирование и систему тестирования, соответственно. Класс *Request* содержит функцию *request\_process*, которая моделирует процесс выполнения теста а, включая время между запросами, время выполнения теста и время ожидания в очереди. Класс *TestSystem* содержит функцию *run\_test*, которая моделирует процесс тестирования, включая запрос

на тестирование, ожидание в очереди, выполнение теста и запись результатов. [7]

Затем определена функция *run\_simulation*, которая создает экземпляры классов *Request* и *TestSystem*, запускает процессы тестирования и возвращает среднее время выполнения теста и стандартное отклонение времени выполнения теста.

Анализ результатов моделирования показал, что оптимальной стратегией является увеличение количества каналов, что позволяет сократить время ожидания в очереди и уменьшить среднее время выполнения теста. Также было выявлено, что время между запросами на тестирование и время ожидания в очереди имеют большое влияние на качество и надежность ПО.

### Заключение

В заключение, была разработана имитационная модель процессов тестирования ПО в АСУ ТП с использованием теории массового обслуживания и метода Монте-Карло на языке программирования Python, с целью

оптимизации процесса тестирования и улучшения качества и надежности ПО.

Результаты моделирования показали, что увеличение количества каналов тестирования позволяет сократить время ожидания в очереди и уменьшить среднее время выполнения теста, что способствует улучшению качества и надежности ПО. Также было выявлено, что время между запросами на тестирование и время ожидания в очереди имеют большое влияние на процесс тестирования. Разработанная имитационная модель может быть использована для оптимизации процесса тестирования ПО в АСУ ТП и улучшения качества и надежности ПО. Она также может быть дополнена и изменена для моделирования различных сценариев тестирования и анализа результатов.

Таким образом, использование теории массового обслуживания и метода Монте-Карло для создания имитационной модели процессов тестирования ПО в АСУ ТП является эффективным способом для оптимизации процесса тестирования и повышения качества и надежности ПО.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гагарина, Л.Г. Технология разработки программного обеспечения: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 230100 «Информатика и вычислительная техника», специальности 230105 «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» / Л.Г. Гагарина, Е.В. Кокорева, Б.Д. Виснадул; под редакцией Л.Г. Гагариной. — Москва: Форум, 2008. — 399 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-8199-0342-1. — EDN QMRMAH.
2. Software Testing Techniques and Strategies // researchgate URL: [https://www.researchgate.net/publication/337274854\\_Software\\_Testing\\_Techniques\\_and\\_Strategies](https://www.researchgate.net/publication/337274854_Software_Testing_Techniques_and_Strategies) (дата обращения: 25.02.2023).
3. Software Testing Techniques // Institute for Software Research International Carnegie Mellon University URL: <https://www.cs.cmu.edu/~luluo/Courses/17939Report.pdf> (дата обращения: 25.02.2023).
4. What Software Test Approaches, Methods, and Techniques are Actually Used in Software Industry? // ceur-ws URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2158/paper2.pdf> (дата обращения: 25.02.2023).
5. SymPy Documentation // SymPy Documentation URL: <https://docs.sympy.org/latest/index.html> (дата обращения: 25.02.2023).
6. Modeling and Simulation in Python // greenteapress URL: <https://greenteapress.com/ModSimPy/ModSimPy.pdf> (дата обращения: 25.02.2023).
7. Quantum Monte-Carlo Simulations of Atoms and Molecules // Faculty of Mathematics and Natural Sciences Department of Physics University of Oslo URL: <https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/52371/1/MasterThesis.pdf> (дата обращения: 25.02.2023).

© Букарев Антон Владимирович (anton@bukarev.org).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МЕТОД РАНЖИРОВАНИЯ ОПЕРАТОРСКИХ КОМПАНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПЕРЕВОЗКАМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В РАМКАХ УПРАВЛЕНИЯ ВРЕМЕНЕМ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

**RANKING METHOD FOR OPERATOR  
COMPANIES IN THE MANAGEMENT  
OF RAILWAY TRANSPORTATION  
WITHIN THE FRAMEWORK OF ROLLING  
STOCK PROVISION TIME MANAGEMENT**

**A. Vasyanin  
S. Kalashnikov**

*Summary.* This article considers the problem of managing the logistics process in railway transport in terms of the interaction of the main agents of the transport process. The relevance and significance of research in this area of transport logistics is indicated. The necessity of creating a mechanism for information management of agents in order to increase the efficiency of interaction between agents at all stages of the transportation is revealed. An algorithm for ranking operator companies has been developed based on the use of a comprehensive indicator of the functioning of rolling stock owners. On the example of a catchment polygon limited by the number of agents, its operation is demonstrated and the main conclusions are made about the effectiveness of this algorithm as one of the tools for building the agent awareness structure and the possibility of using it as a decision support system. The role of the algorithm in the mechanism of information management of agents in railway transport is determined.

*Keywords:* ranking algorithm, operating companies, railway transport, management of the transport and logistics process, information structure.

**Васянин Алексей Константинович**

Аспирант, Сибирский государственный  
индустриальный университет  
ktiflex829@gmail.com

**Калашников Сергей Николаевич**

Д.т.н, доцент, Сибирский государственный  
индустриальный университет

*Аннотация.* В данной статье рассмотрена проблема управления логистическим процессом на железнодорожном транспорте в ключе взаимодействия основных агентов транспортного процесса. Обозначена актуальность и значимость исследований данного направления транспортной логистики. Выявлена необходимость создания механизма информационного управления агентами с целью повышения эффективности взаимодействия агентов на всех этапах осуществления перевозки. Разработан алгоритм ранжирования операторских компаний на основе применения комплексного показателя функционирования собственников подвижного состава. На примере уловного полигона, ограниченного количеством агентов, продемонстрирована его работа и сделаны основные выводы об эффективности данного алгоритма в качестве одного из инструментов построения структуры информированности агентов и возможности применения его как системы поддержки принятия решений. Определена роль алгоритма в механизме информационного управления агентами на железнодорожном транспорте.

*Ключевые слова:* алгоритм ранжирования, операторские компании, железнодорожный транспорт, управление транспортно-логистическим процессом, структура информирования.

**В** условиях возрастающей конкуренции для сохранения и наращивания доли перевозок реформирование существующей структуры железнодорожного транспорта России стало острой необходимостью. Ключевым результатом такой реформы стала более открытая инфраструктурная сеть, что привело резкому увеличению количества операторских компаний, владеющих грузовым подвижным составом и предоставляющим его в аренду другим агентам

(грузоотправителям и грузополучателям). Вследствие роста количества подвижного состава операторских компаний (рисунок 1) значительно снизилась эффективность перевозочного процесса [1].

При этом порожний пробег вагонов составляет в среднем 41,9% (рисунок 2) от общего, что говорит об отсутствии эффективного механизма регулирования в сфере грузовых железнодорожных перевозок [2].

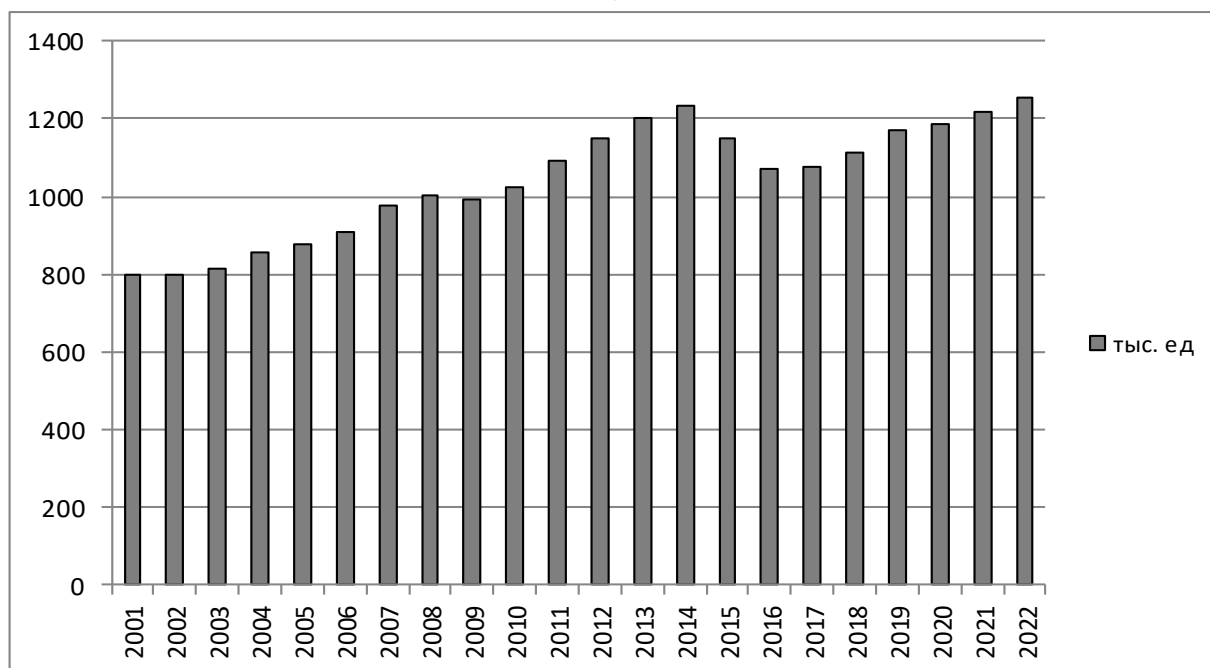


Рис. 1. Динамика роста количества грузового подвижного состава в период с 2001–2022 годы

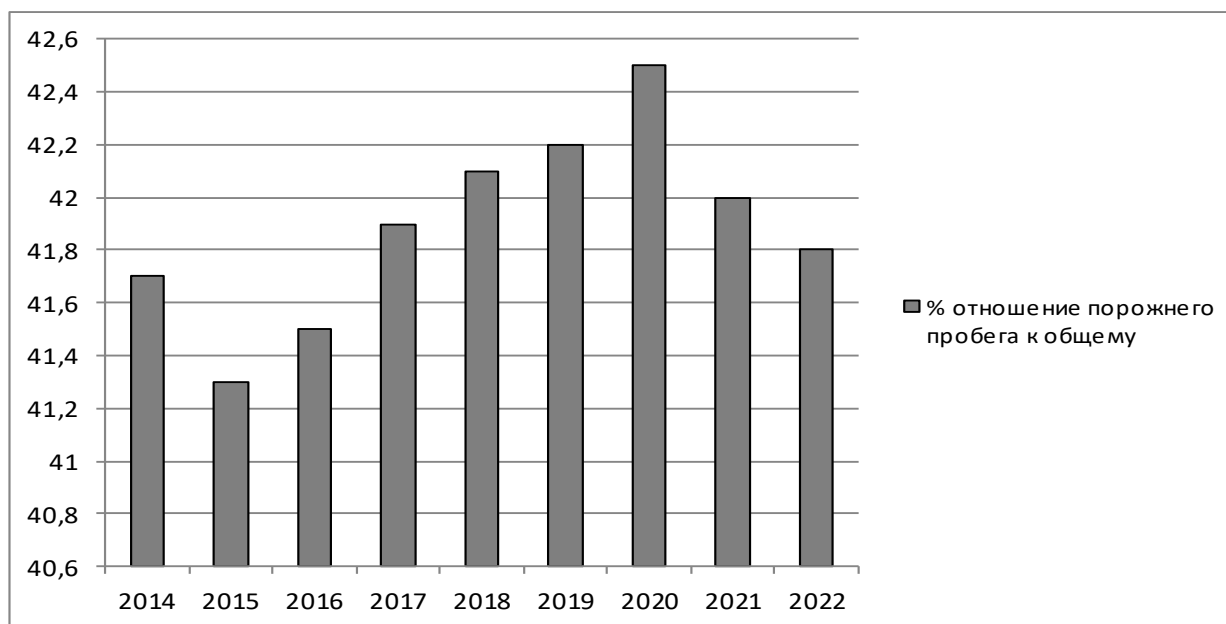


Рис. 2. Отношение порожнего пробега вагонов к общему в% за период 2014–2022 годы

Структура управления транспортно-логистическим процессом на железнодорожном транспорте предполагает разработку механизма поиска наиболее оптимальных, с точки зрения логистики и учета экономических интересов агентов, условий осуществления перевозочного процесса. Одним из инструментов,

способствующих разработке такого механизма, может стать алгоритм ранжирования операторских компаний.

Рассмотрим принцип алгоритма на примере полигона, характеризующегося наличием, помимо основных агентов, промежуточных пунктов: станций накопления



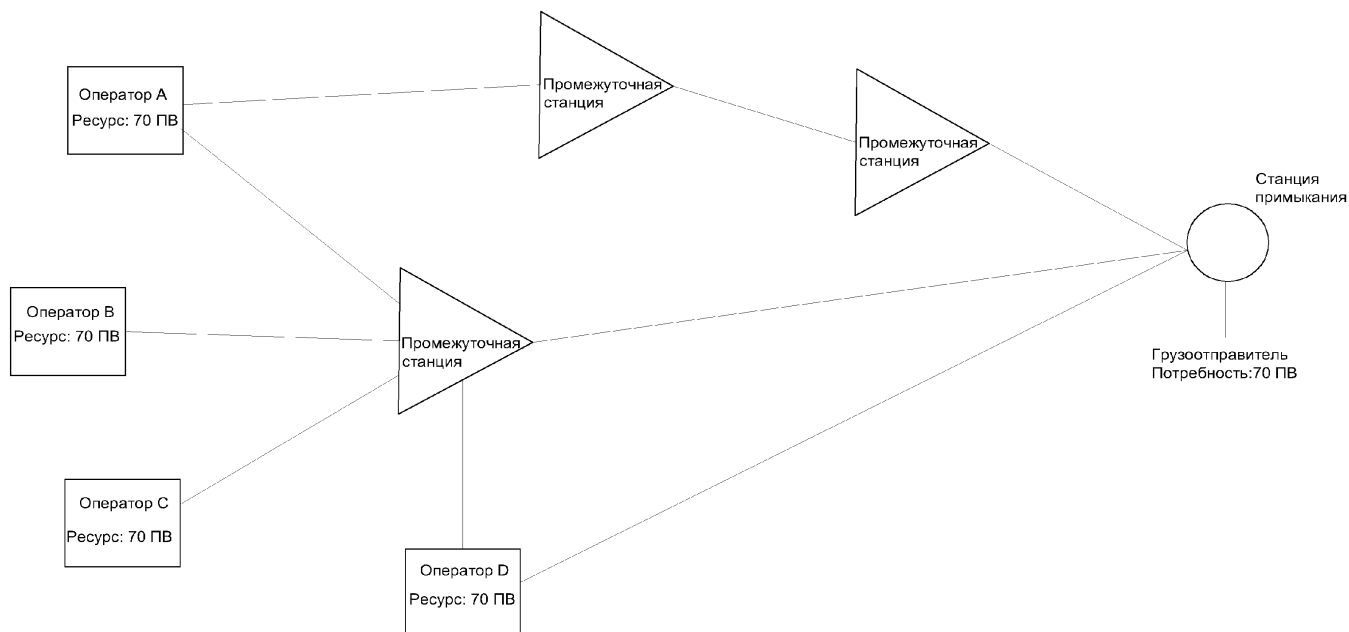


Рис. 3. Схема рассматриваемого полигона

и переформирования составов (Рисунок 3). В реальных условиях функционирования системы, необходимо учитывать не только ресурсы операторских компаний (ОК), потребности грузоотправителей и расстояния перевозки, но и занятость перегонов, а также время обработки на промежуточных станциях.

Время доставки подвижного состава операторской компании А в данном случае имеет прямо пропорциональную зависимость от перерабатывающей способности промежуточных станций, тогда как вагоны операторской компании D могут быть доставлены как через промежуточный пункт, так и напрямую.

С точки зрения логистики подобного рода задача имеет вид классической транспортной задачи, где операторские компании выступают в качестве поставщиков ресурсов — вагонов, а потребителями являются промышленные предприятия, пользующиеся услугами железнодорожных перевозок.

При осуществлении ранжирования операторских компаний необходимо учитывать не только расстояние и время доставки вагонов, но и ряд других показателей функционирования собственников подвижного состава. Для каждого агента, пользующегося услугами транспортных компаний, набор и приоритетность таких показателей может в значительной мере отличаться.

В целом показатели функционирования операторских компаний можно разделить на 3 группы [3]:

1. Количественные показатели — время доставки, оперативность отклика, тарифная ставка, грузоподъемность вагона.
2. Качественные показатели — сохранность, чистота подвижного состава (ПС), % неисправного ПС, удовлетворение заявок агентов.
3. Рейлерные показатели — наличие специализированного ПС под нужды агентов.

Исходя из потребностей агентов (промышленных предприятий) и условий их взаимодействия в транспортном процессе, необходимо учитывать все показатели функционирования ОК в комплексе для обеспечения наиболее точного ранжирования собственников подвижного состава. При этом состав такого комплексного показателя будет зависеть от степени влияния различных критериев функционирования ОК на транспортные потребности агента.

Идея применения комплексного показателя для оценки деятельности операторских компаний не нова. Разработка комплексного показателя функционирования в работах Е.Д. Псеровской [4] подтверждает актуальность исследований в данном направлении транспортной логистики. На основе данных исследований можно сделать вывод, что основными показателями, имеющими наиболее значимое влияние на выбор действий всех агентов в транспортном процессе, являются время продвижения вагона по маршруту (включает в себя объем маневровой работы на станциях) и тарифная ставка за пользование вагоном. Влияние данных

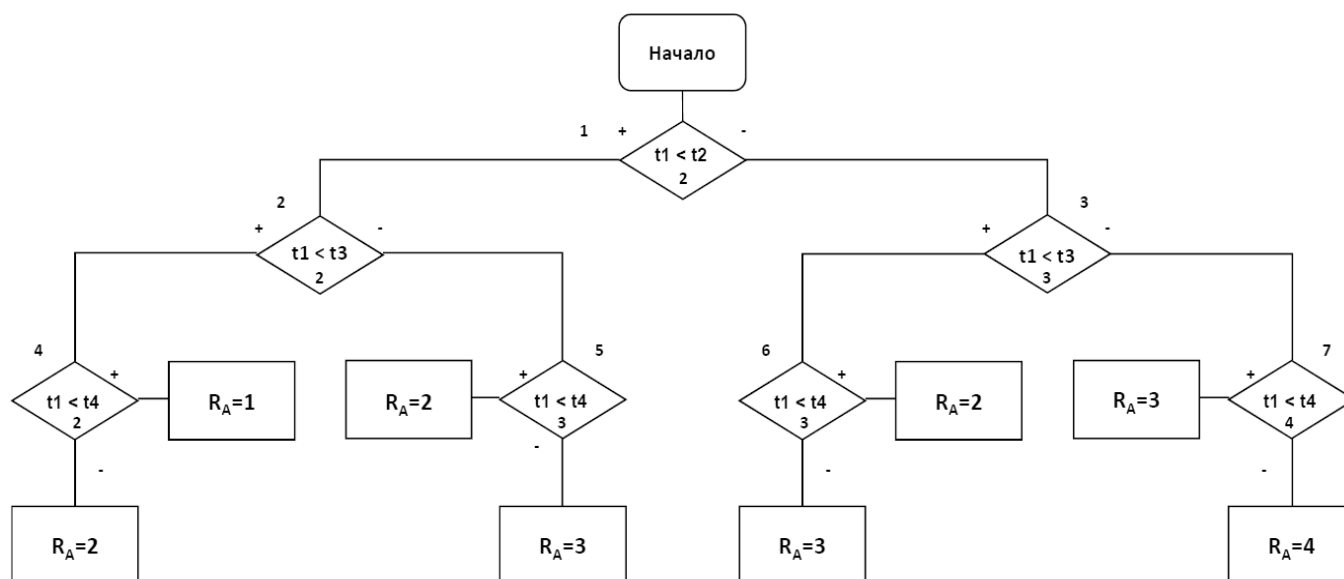


Рис. 4. Алгоритм ранжирования (Ranking) для операторской компании А

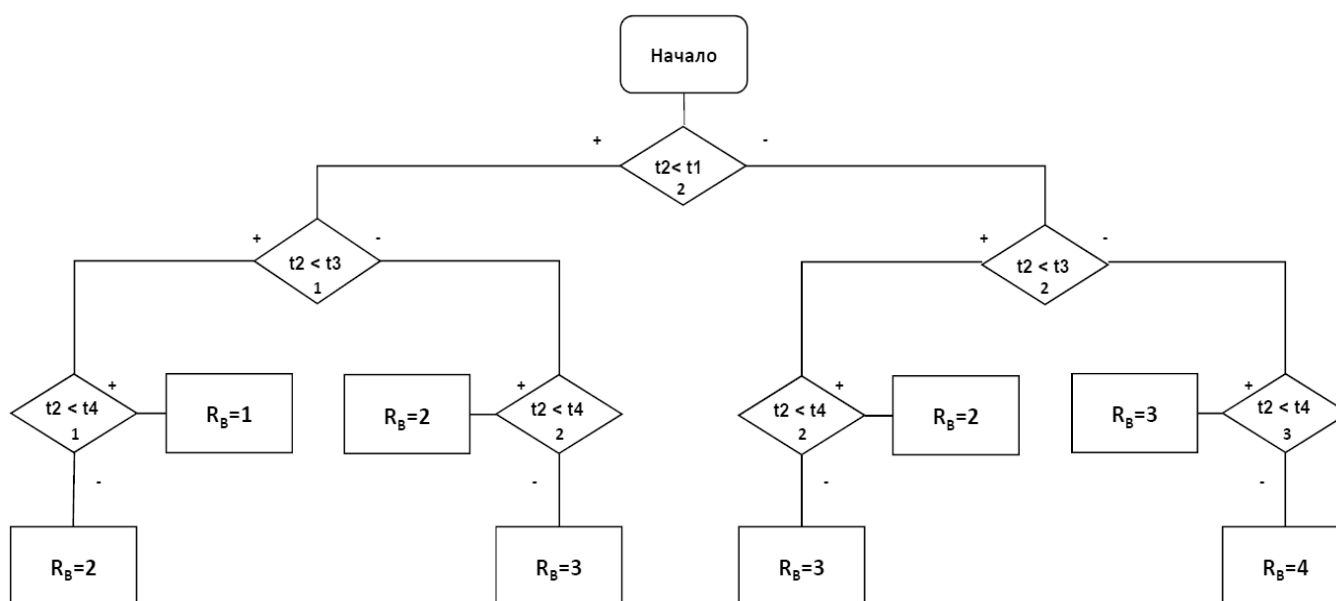


Рис. 5. Алгоритм ранжирования (Ranking) для операторской компании В

составляющих комплексного показателя функционирования положены в основу разработки алгоритма ранжирования подвижного состава.

Помимо создания непосредственно комплексного показателя необходимо также разработать и инструментарий его практического применения.

Алгоритм ранжирования ОК реализован следующим образом.

Обозначим через  $t_1, t_2, t_3, t_4$  значения времени движения вагонов соответственно операторских компаний А, В, С, D.

Поскольку тарифная ставка за пользование вагонами в современных экономических условиях достаточно неустойчива, то в рамках данной статьи она не рассматривается. Зафиксировав значение тарифной ставки за пользование вагоном, применим к переменной времени движения вагона по маршруту метод Монте-Кар-

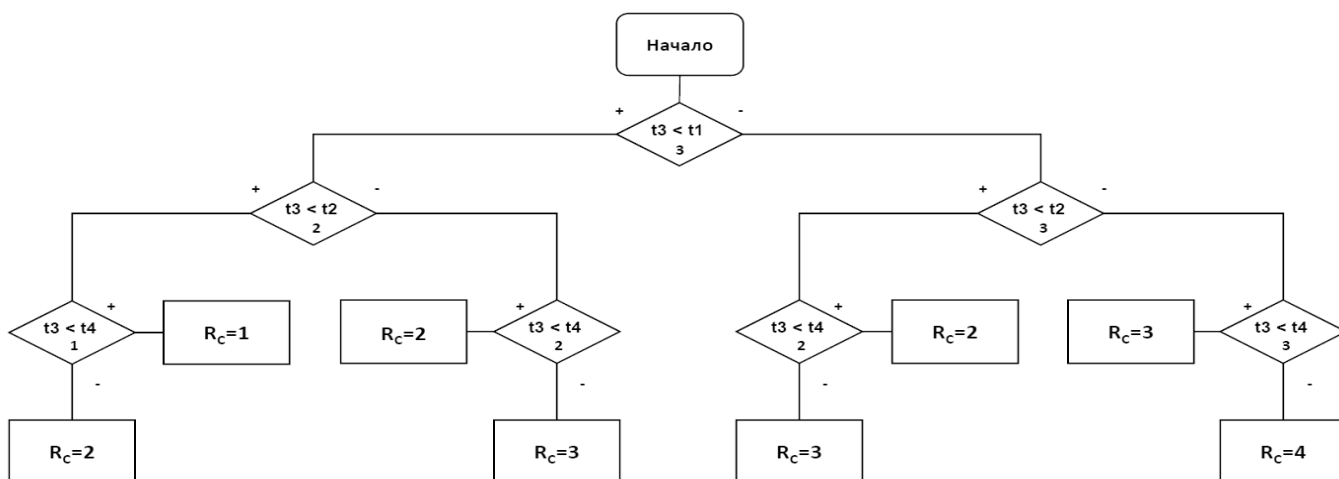


Рис. 6. Алгоритм ранжирования (Ranking) для операторской компании С

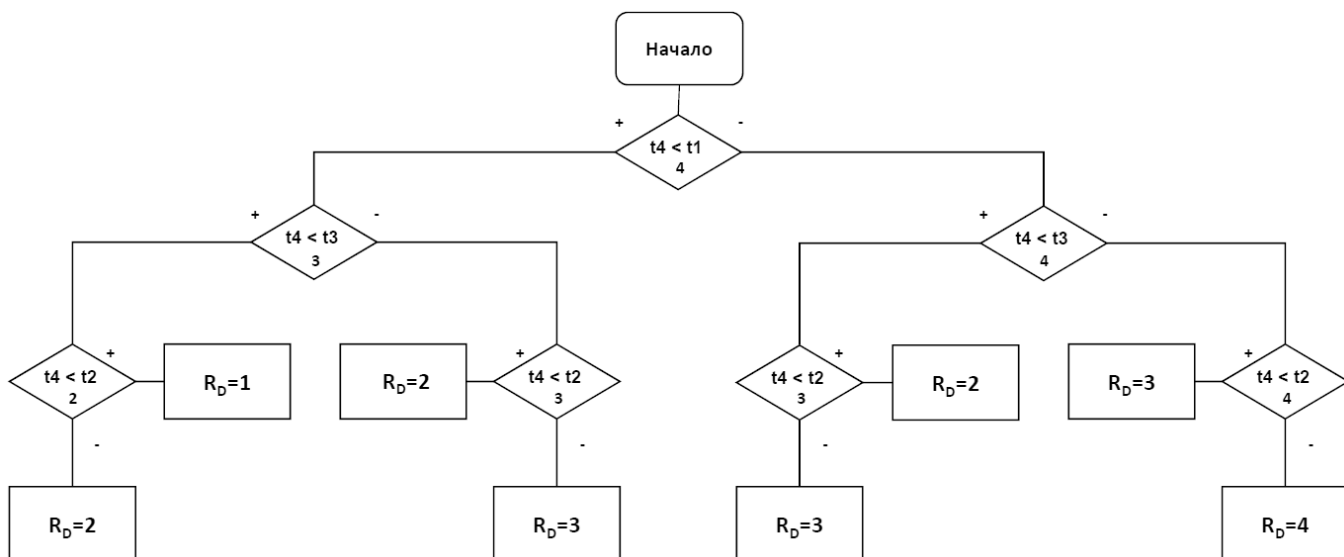


Рис. 7. Алгоритм ранжирования (Ranking) для операторской компании D

ло, тем самым получим значения величин  $t_1, t_2, t_3, t_4$ . Тогда для операторской компании А алгоритм ранжирования (присвоения ранга  $R_A$ ) будет иметь следующий вид (рисунок 4).

Методом сравнения времени движения вагонов разных операторских компаний до агента-потребителя каждому собственнику ПС присваивается ранг, где 1 — соответствует наименьшему времени хода вагона, 4 — наибольшему времени.

Для получения результатов ранжирования ( $R_A$ ) для операторской компании А необходимо провести поочередное сравнение значения времени доставки

ПС  $t_j$  с показателями времени доставки других собственников вагонов. В первом блоке условия производится сравнение значений показателей  $t_1$  и  $t_2$ , после чего алгоритм переходит на следующий уровень, где в блоках условия 2 и 3 значение времени  $t_1$  сопоставляется со значением  $t_3$ . Далее на третьем уровне алгоритма блоки 4–7 выполняют условие сравнения значений  $t_1$  и  $t_4$ . Итогом последовательного выполнения заданных условий является присвоение ранга  $R_A$  в зависимости от значений показателей  $t_1, t_2, t_3, t_4$  (рисунок 4). Чем чаще результат выполнения блоков условия соответствует истинному значению, тем выше присваиваемый ранг для конкретной операторской компании.

Алгоритмы ранжирования для операторских компаний В, С и D (рисунки 5–7) построены аналогичным образом и имеют фрактальную структуру. Подобного рода алгоритм способен масштабироваться под любое количество операторских компаний.

Прослеживание логики функционирования алгоритма наглядно продемонстрировано во второй строке каждого блока условия посредством отображения промежуточного ранга.

Представленные алгоритмы по своей сути могут являться элементами структуры информирования аген-

тов-потребителей, способствующие формированию информационного равновесия при наиболее предпочтительном с точки зрения логистики протекании транспортного процесса. Функционирование алгоритма ранжирования позволит смоделировать систему поддержки принятия решений для агентов (промышленных предприятий) на основе анализа выходных данных механизма ранжирования, что будет способствовать принятию наиболее оптимальных решений при выборе поставщиков подвижного состава. Подобного рода алгоритм является одним из элементов механизма информационного управления, структура которого описана ранее в научной публикации [5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Динамика вагонных парков. Режим доступа: <https://f-husainov.livejournal.com/711542.html> (Дата обращения 2 февраля 2023 г)
2. РЖД: раскрытие информации. Режим доступа: <https://company.rzd.ru/ru/9388/page/15689> (Дата обращения 15 января 2023 г)
3. Комплексная оценка качества транспортного обслуживания методом экспертных оценок. Режим доступа: <https://www.freepapers.ru/106/kompleksnaya-ocenka-kachestva-transportnogo-obsluzhivaniya/234207.1603872.list1.html> (Дата обращения 28 января 2023 г)
4. Псеровская Е.Д., Жаркова А.А., Дружинина М.Г. Показатели взаимодействия ОАО «РЖД», грузоотправителей и операторских компаний // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2022. № 2. 5–15 с.
5. Васянин А.К., Калашников С.Н. Подходы к управлению распределением подвижного состава операторских компаний на железнодорожном транспорте // Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2022: труды Всероссийской научно-практической конференции. С. 521–524

© Васянин Алексей Константинович ( [ktiflex829@gmail.com](mailto:ktiflex829@gmail.com) ), Калашников Сергей Николаевич.  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Сибирский государственный индустриальный университет

# МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБ ОПАСНЫХ ОТКЛОНЕНИЯХ В ПОКАЗАТЕЛЯХ КАЧЕСТВА ВОДЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЕЁ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

## A METHOD FOR CONSTRUCTING AN EARLY WARNING SYSTEM ABOUT DANGEROUS DEVIATIONS IN WATER QUALITY INDICATORS AND THE REGULARITIES OF ITS FUNCTIONING

**N. Golushkov  
A. Kokuev**

*Summary.* The problem under consideration solves the issue of preventing the spread of pollution in areas and elements with potential security threats by periodically collecting information about each subdomain (information about the sources of pollution around each monitoring point). The water quality at the monitoring points is assessed, the trend towards deterioration of water quality is analyzed, a forecasting model is built that allows you to prevent dangerous processes in advance, identify the area of water pollution and the level of pollution, as well as accurately assess the scale of the accident (that is, determine whether it has a local, object or local character), process incoming information in a timely manner and take effective measures to prevent the consequences of an emergency. Due to the application of the proposed system, integrated monitoring of the aquatic environment is improved.

*Keywords:* water environment, monitoring, pollution source, water quality, assessment, trend, block (system), water environment, monitoring platform, pond management.

**Голушков Николай Александрович**

Аспирант, Астраханский государственный  
технический университет  
kolian30rus@yandex.ru

**Кокуев Андрей Геннадьевич**

Кандидат технических наук, доцент, Астраханский  
государственный технический университет

*Аннотация.* Рассматриваемая задача решает вопрос предотвращения распространения загрязнения в областях и элементах с потенциальными угрозами безопасности за счет периодического сбора информации о каждой подобласти (информации об источниках загрязнения вокруг каждой точки мониторинга). Качество воды в точках мониторинга оценивается, анализируется тенденция к ухудшению качества воды, строится модель прогнозирования, которая позволяет заранее предотвратить опасные процессы, идентифицировать площадь загрязнения водной среды и уровень загрязнения, а также точно оценить масштаб аварии (то есть определить какой она имеет характер: локальный, объектный или местный), своевременно обработать поступающую информацию и принять эффективные меры по предотвращению последствий чрезвычайной ситуации. За счет применения предлагаемой системы улучшается комплексный мониторинг водной среды.

*Ключевые слова:* водная среда, мониторинг, источник загрязнения, качество воды, оценка, тенденция, блок (система), водная среда, платформа мониторинга, прудовое хозяйство.

**1** • Блок (система) раннего предупреждения — отличительной чертой которого является то, что датчики собирающие данные для последующей обработки этим блоком установлены на самых опасных (по вероятности возникновения и по классу опасности веществ) местах водного объекта. Это даёт возможность предотвратить распространение (расползание) загрязнения, так как в случае аварии важна каждая минута (если бы контроль осуществлялся автономным плавающим аппаратом с заданным алгоритмом сбора данных в определённых

точках поочередно — то в этом случае быстрота реагирования была бы гораздо больше, так как мы не знаем, когда именно плавающий аппарат попадёт в точку где произошла авария). Ухудшение состояния окружающей среды водоемов стало тенденцией во всем мире, и система раннего предупреждения о превышениях в показателях качества воды стала необходимым средством принятия мер предосторожности против аварии с загрязнением окружающей среды и предотвращения распространения вреда от аварии. Не выстроенная реакция не может соответствовать тенденции развития

системы раннего предупреждения о существующей среде водного объекта, не может обеспечить поддержку для дальнейшего принятия эффективных мер.

**2. Блок (система) раннего предупреждения о превышениях в показателях качества воды содержит в системе следующую базу данных:**

- 1) База данных пространства окружающей среды:
  - а) Основная база данных водной среды;
  - б) База данных по гидрологии и качеству воды;
  - в) В базе данных географической информации можно получить информацию об основных условиях, таких как: место нахождения станции очистки сточных вод; места водозаборов; места слива сточных вод; участок мониторинга вдоль контролируемого участка прудового хозяйства; основные источники загрязнения; динамические данные мониторинга в режиме реального времени; полная информация о географии прудового хозяйства;
- 2) База данных стандартов и атрибутивных данных:
  - а) Хранилище данных об источниках риска;
  - б) База данных об опасных веществах;
  - в) База данных о мерах предосторожности;
  - г) База данных о правилах экологического права;
  - д) Физико-химические свойства ядовитых и вредных опасных веществ к которому относится источник риска;
  - е) Соответствующие законы, правила и стандарты в области охраны окружающей среды.

**База данных выполняет функции:**

- 1) Отображения пространственных данных

В основном включают: основную базу данных о водной среде;

Базу данных о гидрологии и качестве воды;

Базу данных о географической информации.

База данных так же может содержать в себе информацию об основных условиях, таких как очистные сооружения, водозабор, отвод сточных вод, участок мониторинга; Основные источники загрязнения и динамические данные мониторинга в режиме реального времени; Полную информацию о географии бассейна.

- 2) Отображения атрибутивных данных

В основном включают: Хранилище исходных данных о рисках, базу данных об опасных веществах, базу данных о экологических нормативах.

Физико-химические свойства ядовитого и вредного опасного вещества, к которому относится источник риска; Соответствующие законы и правила и стандарты по охране окружающей среды.

- 3) Отображения модели качества воды

Процесс совместного моделирования может быть интуитивно показан при возникновении аварии, аварийное реагирование может выполняться одновременно.

Системой производится поддержка принятия решений по устранению экологических рисков.

Водный объект разделяется по зонам экологического риска — в соответствии с критериями опасности возникновения чрезвычайных ситуаций.

Определяется сходство и различия зон, то есть производится дифференциация по классам.

**3. Способ создания системы раннего предупреждения**

Модель прогнозирования качества воды содержит:

- 1) Двумерную стационарную модель (точки мониторинга заданы алгоритмом с определённым расстоянием между точками)
- 2) Модель мгновенного точечного источника (точки мониторинга заданы на самых опасных по вероятности возникновения и по классу опасности веществ местах водного объекта) .

Теория оценки и управления рисками для окружающей среды в регионе предполагает оценку базовых данных о региональной окружающей среде, источниках экологического риска, изучение методов идентификации риска для окружающей среды в регионе, метод оценки риска для окружающей среды в регионе и в соответствии с этим создаётся система раннего предупреждения об окружающей среде водного объекта (с различными схемами оценки риска: при обычном риске и при риске катастрофического характера) .

Современные высокотехнологичные средства, такие как мультимедиа (то есть взаимодействие визуальных и аудиоэффектов под управлением интерактивного программного обеспечения с использованием современных технических и программных средств, они объединяют текст, звук, графику, фото, видео в одном цифровом представлении.), используют технологию прогнозирования качества воды в сочетании с современной теорией управления рисками для окружающей среды.

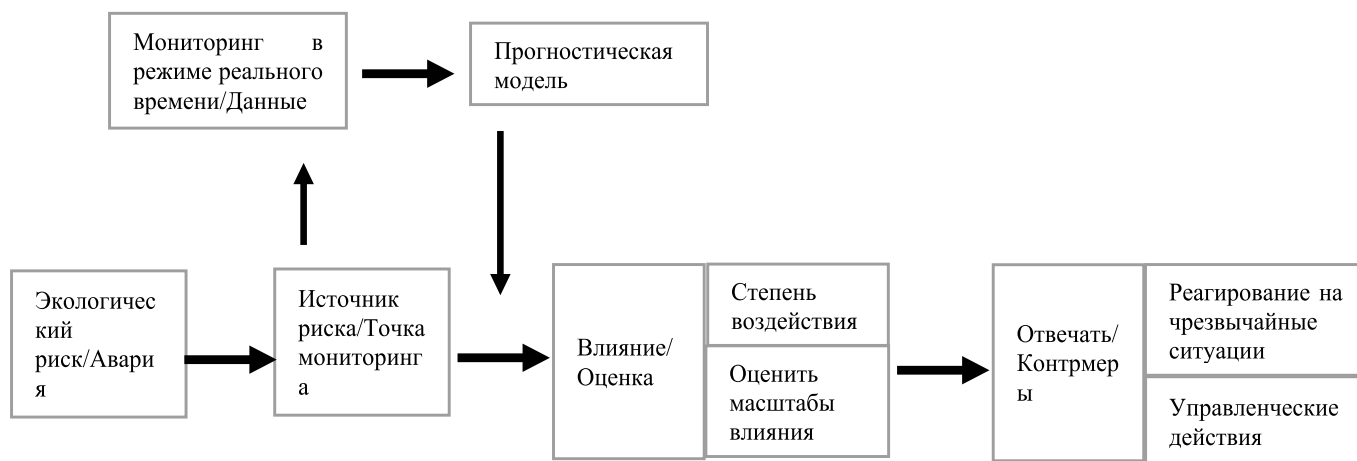


Рис. 1. Метод построения технологической схемы (системы раннего предупреждения об окружающей среде водного объекта)

При решении проблем загрязнения окружающей среды водного объекта можно рассчитывать на компьютерные технологии, с помощью которых осуществляется моделирование и анализа прогноза, с дистанционным управлением и автоматическими технологиями.

Качественное автоматическое управление обеспечивает высокую эффективность, практичную среду для работы, создает прочную основу для реализации устойчивого развития, реально использует современную модель расчета экологических рисков, качественный и количественный прогноз крупных загрязняющих факторов, с объединением мониторинга окружающей среды, прогнозирования качества воды и модели профиля риска.

На рис. 1 представлен метод построения технологической схемы (Блока раннего предупреждения);

Блок (система) раннего предупреждения об окружающей среде водного объекта основана на информационных технологиях, современных высокотехнологичных средствах, таких как геоинформационная система комплексного использования (ГИС), дистанционное зондирование (RS), сеть, мультимедиа и датчики.

Путём полного исследования и оценки региональной природы, общества, экономики и состояния качества воды, экологической среды, распределения водных ресурсов, производится настройка соответствующей динамической базы данных, ручным вводом данных или динамическим обновлением, а также с помощью функции поиска и чтения — производится настройка модели качества воды и соответствующей системы управления водной средой (для воды всего прудового хозяйства).

Система раннего предупреждения производит анализ всех видов фоновой информации, информации о предотвращении рисков и информации о чрезвычайных ситуациях в водной среде;

Если происходит внезапная авария с загрязнением, то система отслеживает изменение каждого показателя мониторинга в режиме реального времени, разрабатывает прогноз, моделирует масштаб загрязнения и, наконец, быстро вырабатывает решения для того, чтобы устранить и в наибольшей степени уменьшить последствия аварии с загрязнением.

В системе раннего предупреждения используется технология прогнозирования качества воды в сочетании с современной теорией управления рисками для окружающей среды, с помощью компьютерных технологий.

Проводится моделирование и прогнозный анализ, с дистанционным управлением и автоматической технологией обработки результатов.

#### Предполагаемый благоприятный эффект:

Система производит мониторинг окружающей среды водного объекта при помощи моделирования и анализа прогноза, с дистанционным управлением и автоматическими технологиями, позволяющими полагаться на автоматическую реакцию (сигнализацию), которая выполняется в точках основных источников загрязнения.

Блок (система) раннего предупреждения об окружающей среде водного объекта, включает следующие этапы:

1. автоматический мониторинг — отслеживает сброс сточных вод (источника риска) в режиме реального времени в течение 24 часов;
2. данные автоматического мониторинга передаются в систему по сети, и по этим данным система определяет является ли сброс сточных вод нормальным или нет;
3. если сброс является ненормальным, то данные автоматического мониторинга немедленно передаются в блок прогнозирования качества воды, а также ищется информация в «базе данных об опасности аварии» по аналогичным параметрам — для выдачи экстренных контрмер для ликвидации последствий аварии.
4. по характеру загрязняющих веществ, которые были обнаружены в воде, проводится оценка опасности;
5. вызывается база данных, в которой отыскиваются (в соответствии с оценкой степени опасности и характером загрязняющих веществ) соответствующие вредные воздействия и необходимые экстренные меры противодействия нанесённому вреду.

Предполагается, что основанная на информационных технологиях, система раннего предупреждения об окружающей среде водоема будет всесторонне применять современные высокотехнологичные средства, такие как: географическая информационная система, сеть 4G, мультимедиа и тому подобное, а так же использовать технологию прогнозирования качества воды и сочетать в себе современную теорию управления рисками для окружающей среды, обеспечивая тем

самым среду с высокой эффективностью и высокой практичностью для автоматизированного управление качеством водного объекта.

### Заключение

Предполагается, что оценка реальной опасности веществ будет базироваться на установлении корреляционных связей между уровнями химического загрязнения и возникающими неблагоприятными эффектами [1].

Положительный эффект разрабатываемого метода также заключается в том, что обоснование безопасности среды обитания и здоровья населения с учётом факторов риска является одной из важнейших социальных и медицинских проблем, то есть необходима оценка вредных показателей (неблагоприятных эффектов) и на основании этих результатов выяснение интегрального показателя качества воды [2–4].

Формирование перечней приоритетных для контроля веществ и показателей может рассматриваться как оптимальное решение проблемы уравнивания отрицательных тенденций и осуществляться на базе мониторинга водной среды и далее на основании этих данных можно судить о эффективности природоохранных мероприятий [5–6].

Промышленность выпускает почти все необходимые электронные функциональные узлы, необходимые для создания устройств измерительной и вычислительной техники, а также систем автоматики [7].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Авалиани С.Л., Иродова Е.В., Печеникова Е.В., Шимонова Т.Е. Оценка реальной опасности химических веществ на основе анализа зависимости «концентрация (доза) — статус организма» // Гигиена и санитария. 1997. № 2. С. 58–60.
2. Айдинов Г.В. Современные гигиенические технологии в решении региональных проблем охраны здоровья населения: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 1999. 48 с.
3. Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Принципы и методы оценки токсичности химических веществ. Женева: ВОЗ, 1981. Ч. I. С. 312.
4. Голушков Н.А., Кокуев А.Г. Повышение эффективности управления предприятием с использованием интегральной оценки воды // 66-я Междунар. науч. конф. Астрахан. гос. техн. ун-та (Астрахань, 25–29 апреля 2022 г.): материалы. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2022. С. 320–322. Режим доступа: 1 CD-ROM. № государственной регистрации 0322203804.
5. Щербо А.П., Киселев А.В., Фридман К.Б. Организационно-методические аспекты применения методологии оценки риска в практической деятельности санэпидслужбы // Гигиена и санитария. 2002. № 6. С. 81–82.
6. Красовский Г.Н., Рахманин Ю.А., Егорова Н.А., Малышева А.Г., Михайлова Р.И. Гигиенические основы формирования перечней показателей для оценки и контроля безопасности питьевой воды // Гигиена и санитария. 2010. № 4. С. 8–12.
7. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника: учеб. М.: КноРус, 2013. 800 с.



## ПОДБОР АЛГОРИТМА КОНСЕНСУСА ДЛЯ ЛОГИСТИЧЕСКОГО БЛОКЧЕЙНА

### SELECTION OF THE CONSENSUS ALGORITHM FOR THE LOGISTICS BLOCKCHAIN

**B. Goryachkin  
I. Solokhov**

*Summary.* The consensus mechanism is the core element of any blockchain network. The blockchain network is formed by numerous nodes that authenticate transactions occurring on the network, and the consensus mechanism allows these nodes to come to an agreement on the transactions that should be added to a new block in the blockchain network. Choosing the right algorithm guarantees the fault tolerance and security of blockchain systems. This article reviews the existing consensus algorithms and selects an algorithm that matches the characteristics of the developed logistics blockchain system.

*Keywords:* blockchain, consensus algorithms, proof-of-work, proof-of-stake, decentralization.

**Горячкин Борис Сергеевич**

Кандидат технических наук, Доцент  
Московский государственный технический  
университет им. Н.Э. Баумана  
bsgor@mail.ru

**Солохов Ильдар Ринатович**

Магистрант, Московский государственный  
технический университет им. Н.Э. Баумана  
sir1504@mail.ru

*Аннотация.* Механизм консенсуса является основным элементом любой сети блокчейн. Сеть блокчейна формируется многочисленными узлами, которые проверяют подлинность транзакций, происходящих в сети, и механизм консенсуса позволяет этим узлам прийти к соглашению в части транзакций, которые следует добавить в новый блок в сети блокчейн. Выбор правильного алгоритма гарантирует отказоустойчивость и безопасность систем блокчейна. В данной статье проведен обзор существующих алгоритмов консенсуса и подобран алгоритм, соответствующий характеристикам разрабатываемой системы логистического блокчейна.

*Ключевые слова:* блокчейн, алгоритмы консенсуса, proof-of-work, proof-of-stake, децентрализация.

### Введение

**Б**локчейн — это распределенная база данных, состоящая из «цепочки блоков», устройства хранения блоков не подключены к общему серверу, база данных позволяет контролировать достоверность транзакций без надзора каких-либо финансовых регуляторов. Реестр хранится одновременно у всех участников системы и автоматически обновляется при малейшем изменении. Каждый имеет доступ к информации о любой транзакции, когда-либо осуществленной. Пользователи выступают в качестве коллективного нотариуса, который подтверждает истинность информации в базе данных.

Блокчейн является распределенной и децентрализованной базой данных, сформированной участниками, в которой невозможно фальсифицировать данные из-за хронологической записи и публичного подтверждения всеми участниками сети транзакции. Основной и главной особенностью блокчейна является использование алгоритмов математического вычисления,

и исключение «человека» и человеческого фактора при принятии решения системой.

Поскольку узлы в сети должны быть уверены в корректности полученных данных, были внедрены специальные алгоритмы — алгоритмы консенсуса. В современных системах алгоритм консенсуса представляет собой математическую задачу, решение на которую можно найти только методом перебора решений к математической функции. Перебирая случайное или псевдослучайное число, меняется значение хеш-функции блока. Сама хеш-функция включает в себя все данные блока, включая хеш предыдущего блока.

### Алгоритмы консенсуса

Алгоритм консенсуса должен обладать тремя свойствами, чтобы система продолжала существовать и имела какой-то прогресс в переходе из состояния в состояние:

1. Согласованность — все корректно работающие узлы должны принять одно и то же значение.

2. Корректность — выбранное значение должно быть одним из тех, которое было предложено каким-либо корректно работающим узлом.
3. Конечность — каждый отдельный корректно работающий узел, должен рано или поздно принять финальное значение и подтвердить это.

Теорема Фишера, Линча, Патерсона (FLP) гласит, что не существует асинхронного детерминированного алгоритма принятия консенсуса, который был бы устойчив к выходу из строя одного узла и гарантировал бы все свойства консенсуса. Асинхронизм означает, что нельзя достоверно различить работает ли узел медленно, или долго идет сообщение, или же отказал узел, даже если предположить, что связь является надежной.

### 1. Proof-of-Work (PoW)

Proof of Work — это первый алгоритм блокчейна, представленный в сети блокчейнов. Алгоритм PoW требует от узлов в сети решения математической задачи для создания следующего блока. Это математическое решение выполняется с помощью хеш-функции. Хэш — это случайная и сложная математическая формула, которая используется для подтверждения транзакций, хранящихся в блоках. Все узлы соревнуются за то, чтобы первыми найти решение методом перебора, что требует огромного количества попыток. Тот, кто первым найдет решение, может иметь право создать новый блок, и после его проверки блок будет добавлен на платформу.

Преимуществом алгоритма Proof of Work является его высокая безопасность и значительная степень децентрализации. Однако, его основным недостатком является большее потребление энергии и ресурсов. Пользователям требуется большая вычислительная мощность, чтобы найти решение сложной математической задачи, связанной с хешированием миллиарда одноразовых номеров или более. Кроме того, для решения этой задачи потребуется некоторое время из-за сложности решения хэш-функции. Поэтому, данный алгоритм не подходит для большой и быстрорастущей сети, требующей огромного количества транзакций в секунду [1].

### 2. Proof-of-Stake (PoS)

Из-за очевидных недостатков алгоритма PoW, таких как пустая трата вычислительной мощности и низкая эффективность достижения консенсуса, алгоритм PoS был предложен в 2011 году. Алгоритм PoS является алгоритмом доказательства доли. В отличие от узлов алгоритма PoW для получения права учета посредством конкуренции вычислительных мощностей, алгоритм

PoS выбирает узел с наибольшей долей в системе в качестве узла учета. Алгоритм PoS выдвигает концепцию токенов. Ставка узла может быть рассчитана на основе количества и времени удерживаемых им токенов. Чем больше токенов удерживает узел и чем дольше он удерживает, тем выше его капитал.

Преимущество алгоритма PoS заключается в том, что ему не нужно проходить сложный процесс «майнинга», а нужно только пройти доказательство доли для получения права учета. Это, в свою очередь, сокращает время блока и время обработки транзакций и значительно экономит время на достижение консенсуса, а эффективность консенсуса значительно повышается. Кроме того, алгоритм PoS также экономит и улучшает потребление вычислительных ресурсов по сравнению с алгоритмом PoW.

Основные недостатки данного алгоритма — это постепенная централизация сети, из-за чего участники с большим количеством средств имеют больше привилегий и подверженность атакам на раннем этапе сети [2].

### 3. Delegated Proof-of-Stake (DPoS)

Основная идея алгоритма DPoS, а именно алгоритм делегированного доказательства доли, похожа на репрезентативную избирательную систему. Данный алгоритм только внешне похоже на имя Proof-of-stake, ведь детали реализации двух алгоритмов существенно отличаются друг от друга. В DPoS вместо ставки на монеты для проверки транзакций держатели токенов в ходе голосования выбирают валидаторов транзакций, которые будут формировать блоки. Вес каждого голоса определяется суммой активов голосующего. Держатели монет, в случае сомнений, могут перевыбирать кандидатов. Благодаря этому можно достичь высокой устойчивости сети. Если большая часть исполнителей вышла из строя, то сообщество тут же проголосует за их замену.

Алгоритм DPoS сочетает в себе преимущества алгоритмов PoS и PoW соответственно. Основываясь на механизме принятия нескольких решений с учетом по очереди, скорость связи между узлами в консенсусе DPoS выше, и узлы могут быстро выполнять упаковку блоков, широковещательную рассылку и проверку, а также значительно улучшают пропускную способность системных транзакций. DPoS не зависит от вычислительных ресурсов и соответственно снижает потребление энергии.

Механизм консенсуса DPoS прост и эффективен, поскольку не требует майнинга или полной проверки

узла. Вместо этого он проверяется ограниченным числом узлов-свидетелей. Это также энергосберегающее по сравнению с PoW и PoS. Несмотря на преимущества, предлагаемые данным алгоритмом, он все же не лишен недостатков. Одна из таких неисправностей — достаточная децентрализация никогда не может быть достигнута [3].

#### 4. Leased Proof-of-Stake (LPoS)

LPoS — еще одна модификация алгоритма Proof-of-Stake. На данный момент он поддерживается только платформой Waves. В рамках этого алгоритма, любой пользователь имеет возможность передавать свой баланс в аренду майнинг-узлам, а за это майнинг-узлы делятся частью прибыли с пользователями. Таким образом, данный алгоритм консенсуса позволяет получить доход от майнинговой деятельности, не ведя самого майнинга.

Преимущества: 1) Меньшее потребление энергии, сделку по аренде можно активировать с помощью телефона. Несколько узлов теперь могут выполнять процесс, для которого требуется несколько узлов с высокой вычислительной мощностью. 2) Более высокая скорость обработки. Системы на основе LPoS являются быстрыми и эффективными, поскольку несколько узлов участвуют в проверке транзакции в данный момент времени [4].

#### 5. Proof-of-Capacity (PoC)

Proof of Capacity (PoC) — это алгоритм механизма консенсуса, используемый в блокчейнах, который позволяет майнинговым устройствам в сети использовать доступное пространство на жестком диске для определения прав на майнинг и проверки транзакций. Ключевой особенностью PoC является то, что для его работы требуется очень мало энергии по сравнению с другими алгоритмами консенсуса. PoC также зависит от емкости хранилища пользователя для проверки блоков, что делает его более экологичным.

Преимущества: PoC может использовать любые обычные жесткие диски; данный алгоритм более энергоэффективен; нет необходимости в специальном оборудовании или постоянном обновлении жестких дисков; данные майнинга можно легко стереть, а диск можно повторно использовать для любых других целей хранения данных.

Недостатки: вредоносное ПО может влиять на деятельность майнинга; широкое внедрение PoC может начать «гонку вооружений» для производства жестких дисков большей емкости [5].

#### Сравнительный анализ алгоритмов

Чтобы определить, является ли алгоритм консенсуса подходящим для разрабатываемого блокчейн-приложения, необходимо учитывать следующие факторы:

**Безопасность:** все узлы должны иметь возможность давать результаты, соответствующие правилам протокола.

**Участие:** все узлы должны иметь возможность участвовать и вносить свой вклад в изменения, вносимые в базу данных.

**Инклюзивный:** алгоритм должен гарантировать, что каждый узел участвует в процессе голосования.

**Равные возможности:** каждый голос, полученный от узла, должен иметь равный вес в алгоритме консенсуса.

**Риски, связанные с выбором неправильного протокола:**

Выбор плохого алгоритма консенсуса увеличивает уязвимость цепочки. В результате которой возникает сеть, параллельная уже существовавшей. Когда происходит разветвление блокчейна, приложение начинает работать непредсказуемым образом, создавая впереди два или более расходящихся узла.

**Низкая производительность:** когда рассматривается непригодный алгоритм консенсуса, узел выходит из строя, либо страдает от разделения сети. Это задерживает процесс обмена сообщениями между узлами, что в конечном итоге снижает уровень производительности.

**Отказ от консенсуса:** в этой ситуации часть узлов не может участвовать ни в одном процессе, и, таким образом, в отсутствие их голосов консенсус не дает точных и желаемых результатов.

Проанализируем существующие алгоритмы консенсуса и сравним их характеристики. Сравнительная характеристика представлена в таблице 1:

#### Обоснование выбора алгоритма консенсуса для блокчейна

На основе сводной таблицы 1 выберем алгоритмы, которые подходят для реализации логистического блокчейна. Исходя из обзора моделей и их анализа, можно составить список требований к алгоритму. Алгоритм консенсуса должен быть:

Таблица 1. Сравнение алгоритмов консенсуса

Наименование	Децентрализация	Математическая задача	Скорость проведения транзакции [6, 7, 8]
PoW	есть	есть	600 секунд
PoS	есть	есть	60 секунд
DPoS	есть	есть	480 секунд
LPoS	есть	есть	300 секунд
PoC	есть	есть	420 секунд

Таблица 2. Сравнительный анализ алгоритмов после программного тестирования

Наименование	Пропускная способность	Сложность	Масштабируемость	Время добавления блока
PoW	низкая	высокая	низкая	20 секунд
PoS	высокая	высокая	высокая	5 секунд
DPoS	высокая	высокая	высокая	17 секунд

- ◆ энергоэффективным;
- ◆ с низкой стоимостью проведения транзакций;
- ◆ с большой пропускной способностью;
- ◆ простым и стойким;
- ◆ без майнинга;
- ◆ масштабируемым.

В результате можно выделить следующие алгоритмы: PoW, PoS, DPoS.

Для подбора оптимального протестируем с параметрами, максимально приближенными к действующей системе.

Выделим основные характеристики:

- ◆ пропускная способность: необходимость выполнения большого количества вычислений требует существенных временных затрат. Алгоритм PoW может выполнять 7–10 транзакций в секунду в то время, как PoS — 2000 транзакций в секунду, DPoS — 5000 транзакций в секунду [9];
- ◆ сложность: подразумевается решение некоей математической задачи, чем сложнее задача, тем сложнее атака на сеть;
- ◆ масштабируемость: способность системы, сети или процесса справляться с увеличением рабочей нагрузки. Данный параметр можно оценить, как совокупность пропускной способности и сложности алгоритмов.
- ◆ время добавления блока: данный параметр определялся практическим путем. Был реализован программный код, который реализует три алгоритма.

Вычислим временную характеристику для каждого из приведенных выше алгоритмов.

### 1) PoW

Время генерации блока для данного алгоритма определяется следующей формулой [10]:

$$T_i = -\frac{1}{\lambda(1-h_{prev})} \log(1-p), \quad (1)$$

где  $T_i$  — время генерации блока для  $i$ -го аккаунта, сек;

$\lambda$  — среднее кол-во генерируемых блоков в секунду, сек<sup>-1</sup>;

$h_{prev}$  — коэффициент мощности сети, безразмерная величина;

$p$  — вероятность из равномерного распределения, безразмерная величина.

В данной формуле коэффициент мощности сети — это скорость решения криптографической задачи. Представляет собой сумму вычислительных мощностей предыдущих участников.

Полученное время — 18 секунд.

### 2) PoS

Время генерации блока для аккаунта  $i$  рассчитывается как [11]:

$$T_i = T_{min} + C_1 \log(1 - C_2 \frac{\log X_i}{b_i A_n}), \quad (2)$$

Таблица 3. Сравнение временных характеристик для различных методов.

Наименование	Формула	Программа
PoW	18 секунд	20 секунд
PoS	5 секунд	5 секунд
DPoS	21 секунда	17 секунд

где  $T_i$  — время генерации блока для  $i$ -го аккаунта, сек;

$T_{min}$  — 5 секунд, константа, определяющая минимальный временной интервал между блоками;

$C_1$  — константа, равная 70 и корректирующая форму распределения интервала между блоками, безразмерная величина;

$C_2$  — константа, равная  $5E17$  и предназначенная для регулирования сложности, безразмерная величина;

$X_i$  — генерирующая подпись, безразмерная величина;

$b_i$  — доля баланса участника от общего баланса системы, %;

$A_n$  — адаптивный коэффициент, регулирующий среднее время выпуска блока, безразмерная величина.

Генерирующая подпись — это первые 8 байт публичного ключа и хэша текущего блока [11].

Полученное время — 5 секунд.

### 3) DPOs

На основании формул (1) и (2) составим формулу для алгоритма DPOs. Так как он сочетает в себе принцип работы PoW и PoS, то время генерации блока для аккаунта  $i$  рассчитывается как:

$$T_i = C \times \left( \frac{-\log_{10} \frac{X_i}{X_{max}}}{b_i \times A_n} \right), \quad (3)$$

где  $T_i$  — время генерации блока для  $i$ -го аккаунта, сек;

$C$  — константа, равная 70 и корректирующая форму распределения интервала между блоками;

$X_i$  — генерирующая подпись, безразмерная величина;

$b_i$  — доля баланса участника от общего баланса системы, %;

$A_n$  — адаптивный коэффициент, регулирующий среднее время выпуска блока [12].

Оценим время, полученное в результате расчета и программным методом.

Оценим разницу между значениями временных характеристик, полученных формулой и программой. При

подсчете значения формулой использовались значения идеальных условий, поэтому в программе оценим влияние вычислительных мощностей компьютера.

В нашем случае на исполняемый код влияет логарифмическая временная сложность.

Для алгоритма PoW получаем погрешность вычислительной мощности равной 11.1, DPOs — 19.05. Так как PoS не использует вычислительных мощностей, то есть не решает математическую задачу, поэтому получаем значение 0.

Таким образом можно составить формулу, для проверки значений, полученных программой и формулой.

$$T_f = T_p \times \left( \frac{1}{1-U} \right), \quad (4)$$

где  $T_f$  — время, полученное формулой,

$T_p$  — время, полученное программой,

$U$  — параметр вычислительной мощности.

Получаем значения: PoW — 18 секунд, PoS — 5 секунд, DPOs — 21 секунд.

Для реализации блокчейна необходимо использовать алгоритм с минимальным временем генерации блока. В результате наименьшее время генерации блока у алгоритма Proof-of-Stake.

### Заключение

Механизм консенсуса является основным элементом любой сети блокчейн. Выбрав правильный протокол консенсуса, легче гарантировать отказоустойчивость и безопасность систем блокчейна. В данной работе были проанализированы алгоритмы и подбраны те, которые соответствуют параметрам разрабатываемой системы. Конечным результатом являлось анализирование времени получения блоков двумя способами: программой и с помощью формул. Также была проведена оценка разницы значений полученных двумя способами. Сделан вывод о влиянии на результат вычислительных мощностей компьютера и логарифмической сложности для решения математической задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mingxiao D. et al. A review on consensus algorithm of blockchain //2017 IEEE international conference on systems, man, and cybernetics (SMC) .— IEEE, 2017.— С. 2567–2572.
2. King S., Nadal S. Ppcoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake //self-published paper, August. — 2012. — Т. 19.— № . 1.
3. Yang F. et al. Delegated proof of stake with downgrade: A secure and efficient blockchain consensus algorithm with downgrade mechanism //IEEE Access.— 2019.— Т. 7.— С. 118541–118555.
4. Chomsiri T., Kongsup K. P coin: high speed cryptocurrency based on random-checkers proof of stake //2018 Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS) .— IEEE, 2018.— С. 524–529.
5. Bentov I. et al. Proof of activity: Extending bitcoin's proof of work via proof of stake [extended abstract] y //ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review.— 2014.— Т. 42.— № . 3.— С. 34–37.
6. Mingxiao D. et al. A review on consensus algorithm of blockchain //2017 IEEE international conference on systems, man, and cybernetics (SMC) .— IEEE, 2017.— С. 2567–2572.
7. Zhang C., Wu C., Wang X. Overview of Blockchain consensus mechanism //Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Big Data Engineering.— 2020.— С. 7–12.
8. Baliga A. Understanding blockchain consensus models //Persistent.— 2017.— Т. 4.— № . 1.— С. 14.
9. Fan X., Chai Q. Roll-DPOS: a randomized delegated proof of stake scheme for scalable blockchain-based internet of things systems //Proceedings of the 15th EAI international conference on mobile and ubiquitous systems: computing, networking and services.— 2018.— С. 482–484.
10. Lasla N. et al. Green-PoW: An energy-efficient blockchain proof-of-work consensus algorithm //Computer Networks.— 2022.— Т. 214.— С. 109118.
11. Waves: сайт.— URL: <http://docs.wavesenterprise.com/ru/1.1.2/how-the-platform-works/consensus/PoS.html#proof-of-stake> (дата обращения:24.11.2022)
12. Saleh F. Blockchain without waste: Proof-of-stake //The Review of financial studies.— 2021.— Т. 34.— № . 3.— С. 1156–1190.

© Горячкин Борис Сергеевич (bsgor@mail.ru), Солохов Ильдар Ринатович (sir1504@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАБОТЫ С ВИДЕОФАЙЛАМИ

**Иванов Вадим Олегович**

Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого  
vadim1999ivanov@gmail.com

**Амосов Владимир Владимирович**

К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский  
политехнический университет Петра Великого  
amosov\_vv@spbstu.ru

**Коликова Татьяна Всеволодовна**

Старший преподаватель, Санкт-Петербургский  
политехнический университет Петра Великого  
kolikova\_tv@spbstu.ru

## USING A NEURAL NETWORK TO WORK WITH VIDEO FILES

**V. Ivanov  
V. Amosov  
T. Kolikova**

*Summary.* The stages of developing a program for searching for a car in a video sequence and for tracking an object in the frame are described. The search for the car and the tracking of the object in the frame was carried out using a neural network. This article describes the methods of working with video files. The types and constructions of a neural network are considered.

*Keywords:* neural network, method, video file, video sequence, frame, Keras, Connect, Mobile Net, OpenCV, data set.

*Аннотация.* Описываются этапы разработки программы для поиска автомобиля в видеоряде и для отслеживания объекта в кадре. Поиск автомобиля и отслеживание объекта в кадре осуществлялся с помощью нейронной сети. В данной статье описываются методы работы с видеофайлами. Рассматриваются виды и построения нейронной сети.

*Ключевые слова:* нейронная сеть, метод, видеофайл, видеоряд, кадр, Keras, ConvNet, MobileNet, OpenCV, дата-сет.

## Введение

**В** работе описан процесс создания нейронной сети и рассмотрены аналоги похожих сетей. Также рассмотрен алгоритм работы нейронной сети с видеофайлами, её структура и какие средства для этой работы понадобились. Будут представлены различные способы обучения нейронной сети и составления дата-сета для обучения.

### 1. Постановка общей проблемы

В современном мире каждая дорога оснащена видеокамерами, но зачастую поиск автомобилей происходит без их участия. Для решения данной проблемы разрабатываются множество средств поиска автомоби-

лей. Одним из таких средств является нейронная сеть. Предлагаемая в данной работе нейронная сеть решает эту проблему, обеспечивая поиск объекта, улучшение качества изображения объекта из видеофайла и возможность отслеживания объекта.

### 2. Рассмотрение известных методов решения

В одном из методов решения по результатам исследований был предложен подход, использующий в качестве классификатора рекуррентную нейронную сеть (Recurrent neural network; RNN) с долгой краткосрочной памятью (Long short-term memory; LSTM), одним из преимуществ которой является способность обработки длинных последовательностей информации. [1]

В другом методе его авторы представили систематический обзор литературы (SLR) по обработке видео с использованием DL. Они исследовали приложения, функциональные возможности, методы, наборы данных, проблемы и вызовы, и сформулировали соответствующие исследовательские вопросы (RQS). Они классифицировали технику глубокого обучения для обработки видео, основанную на CNN, DNN и RNN. [2]

Ещё в одном методе рассмотрены основные способы, на которых строятся системы распознавания данных. В качестве основного метода был выбран нейросетевой подход. Разработанный аппаратно-программный комплекс распознавания изображений и образов для управления контрольно-пропускным пунктом позволил достичь точности распознавания до 80%. Результаты были получены на тестовых образцах фотоизображений. [3]

### 3. Постановка задач

Целью, данной работы является разработка нейронной сети, позволяющей улучшить качество видеофайла, нахождение и слежением за объектом в кадре.

Требуется построить такую нейронную сеть, которая сможет различать между собой большое количество объектов в видеоряде. Необходимо оптимизировать данную нейронную сеть для того, чтобы она эффективно и быстро могла обучаться.

Требуется, чтобы нейронная сеть работала в двух режимах (обучения, распознавания). В режиме обучения она использует ConvNet для распознавания объекта в тестовом режиме и улучшения качества видеоряда из базы данных, а также сохраняет результаты обучения.

В режиме распознавания, нейронная сеть, использует сохранённые результаты обучения для быстрого и точного определения вида объекта в улучшенном качестве в видеоряде.

## 4. Структура нейронной сети

### 1.1. Порядок составления дата-сета для обучения

Для этого используется набор данных DIV2K, в котором содержится несколько.rag файлов, содержащих кадры в хорошем и плохом качестве.

### 1.2. Генератор данных

Если используется генератор изображений от Keras, то это ImageDataGenerator "поток" изобра-

жений из классифицированных каталогов. Он прост в использовании, и можно быстро увеличить объем данных (манипулирование изображениями для получения большего количества образцов в «ряду»). Такой генератор приемлем для распознавания "одиночных" изображений, но не для последовательности кадров, так как:

1. Генератор изображений выдает данные (N, W, H, C), где N-размер пакета, W и H-ширина и высота, а C-количество каналов (3 для RGB, 1 для изображений в оттенках серого) .

Но нам нужно отправить последовательность (несколько кадров). Необходимая форма (N, F, W, H, C) — где F-количество кадров для нашей последовательности. Например, если мы обучим последовательность из 5 изображений, которые являются RGB и имеют размер 112x112, форма должна быть (N, 5, 112, 112, 3).

Генератор данных изображений от Keras не может создать такой формат.

2. У каждого видео не одинаковое количество кадров. Если видео имеет длину 5 секунд и кодируется со скоростью 24 кадра в секунду, таким образом, для всего видео имеется  $5 \times 24 = 120$  изображений. Но другие видео могут быть длиной 10 секунд или 2 секунды. [4] [5]

В следующем разделе будет описано как можно модернизировать данный генератор под нужды нашей нейронной сети.

### 1.3. Методы работы с набором данных

Для этого рассмотрим методы работы с данными в дата-сете. Первый метод состоит в том, чтобы получить 5 первых кадров из 0 секунды, затем из 1 секунды и так далее.

Это возможно только в том случае, если есть уверенность, что "действие", которое нужно предсказать, происходит в этих 5 кадрах. Но это бывает редко. У каждого набора данных из набора кадров в видео, которое используется, есть немного (или много) времени в начале и в конце видео, где "не происходит никаких действий". [6]

Второй метод состоит в выборе 5 распределенных кадров из всего видео.

Это более эффективно, потому что, если в первом или последнем кадре видео нет действия, то нужно будет избегать их. Другое преимущество заключается



в том, что теперь есть все движения в последовательности.

Единственное, что нужно сделать, это подготовить пользовательский генератор (который расширяется Sequence), который может:

- ◆ прочитать видео (с использованием OpenCV)
- ◆ выбрать N кадров
- ◆ возвратом пакетов с кадрами

Составленный генератор может извлечь некоторые кадры, изменить их размер, создать пакет. Он “подгоняет” модель под время обучения, также создает данные проверки, разделяя входной набор данных.

Генератор использует OpenCV для захвата видео. И поскольку нам не нужно тренироваться со всем набором кадров, он знает, как извлечь часть кадров из видео.

Составленный генератор видеок кадров может использовать ImageDataGenerator для получения набора кадров с расширенным набором данных из входных видео.

Наконец, генератор также может сохранять не дополненные исходные кадры в кэше и пытаться выбирать кадры, избегая первых, чтобы быть уверенным, что в кадрах “что-то происходит».

Что касается кэша кадров, то он заполняется при запуске первой фазы обучения. Затем, когда генератор обработает все видео, он будет выбирать кадры из памяти вместо повторного чтения видеофайла. [7] [8] [9]

#### 1.4. Принцип работы генератора

Создадим набор данных из базы данных DIV2K, содержащий только 2 класса из предоставленных файлов rag.

Создаем каталог с именем “input” с 2 подкаталогами, названными именами классов. Теперь можно использовать генератор, входящий в комплект библиотеки keras.

- ◆ генератор может производить увеличение данных
- ◆ он создает проверочный набор данных — здесь 33% видео, отобранных из набора данных
- ◆ он может использовать “кэш кадров”, который должны «деактивировать», если у компьютера небольшой объем оперативной памяти.

В результате Train и valid генераторы могут генерировать последовательности кадров. Здесь используют 5 кадров с размером пакета до 8. Это означает, что

генератор создает 8 последовательностей из 5 кадров, выбранных из видео. [10]

#### 1.5. Процесс обучения нейронной сети

Есть несколько способов построения модели. Используем известную модель, которую внедряем в распределенный по времени слой, или можем создать собственную. [11]

##### 1.5.1. Пользовательская сеть ConvNet

Каждое входное изображение последовательности должно передаваться в сверточную сеть. Цель состоит в том, чтобы обучить эту модель для каждого кадра, а затем решить, какой класс выводить.

Концепция:

- ◆ Создается сеть ссылок и распределяется время для обнаружения “функций”
- ◆ Распределенный по времени вывод вводится в GRU или LSTM для обработки “временных рядов”.
- ◆ Затем для принятия решения применяется плотная сеть, чтобы “классифицировать” кадры с хорошим качеством и плохим для обучения на них.

Нужно создать сеть ConvNet. Создадим функцию, которая возвращает модель. Здесь используется простая модель. Было сделано несколько сверток с пакетной нормализацией.

Этой простой модели достаточно для обнаружения функций. Последний слой создает одно измерение для вывода, также можно использовать Flatten для преобразования формата изображений из 2d-массива (28 на 28 пикселей) в 1d-массив из  $28 * 28 = 784$  пикселей, но GlobalMaxPool2D (операция глобального максимального объединения пространственных данных) уменьшит количество выходов (получая только максимальные значения из последней свертки). [12]

Теперь пришло время построить распределенную по времени модель с помощью LSTM (сети долгой краткосрочной памятью), это очень эффективно, но было применено GRU, так как он концептуально такой же, но использует меньше памяти.

Модель действий строит ConvNet сначала только с (112, 112, 3), shape [1:] удаляет индекс измерения “5” — затем он вводит его в TimeDistributed слой. Этому слою нужна полная форма (5, 112, 112, 3) в качестве входных данных. Это означает, что на входе “модель” требуется 5 изображений 112x112 с 3 каналами (RGB). Так как набор данных не очень велик, будет использо-

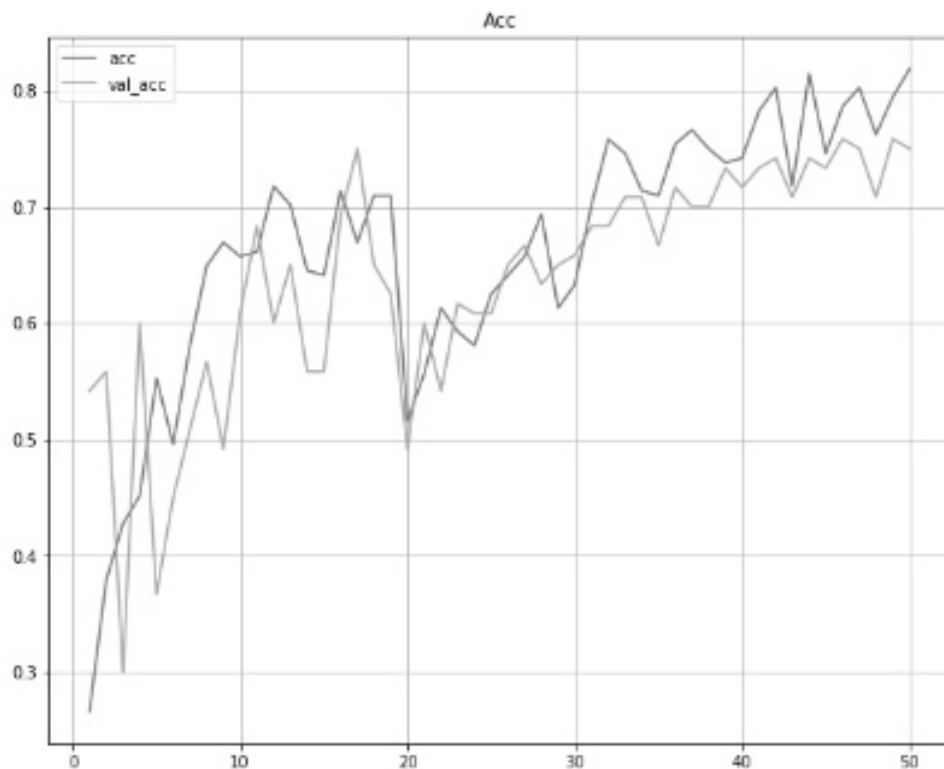


Рис. 1. График точности

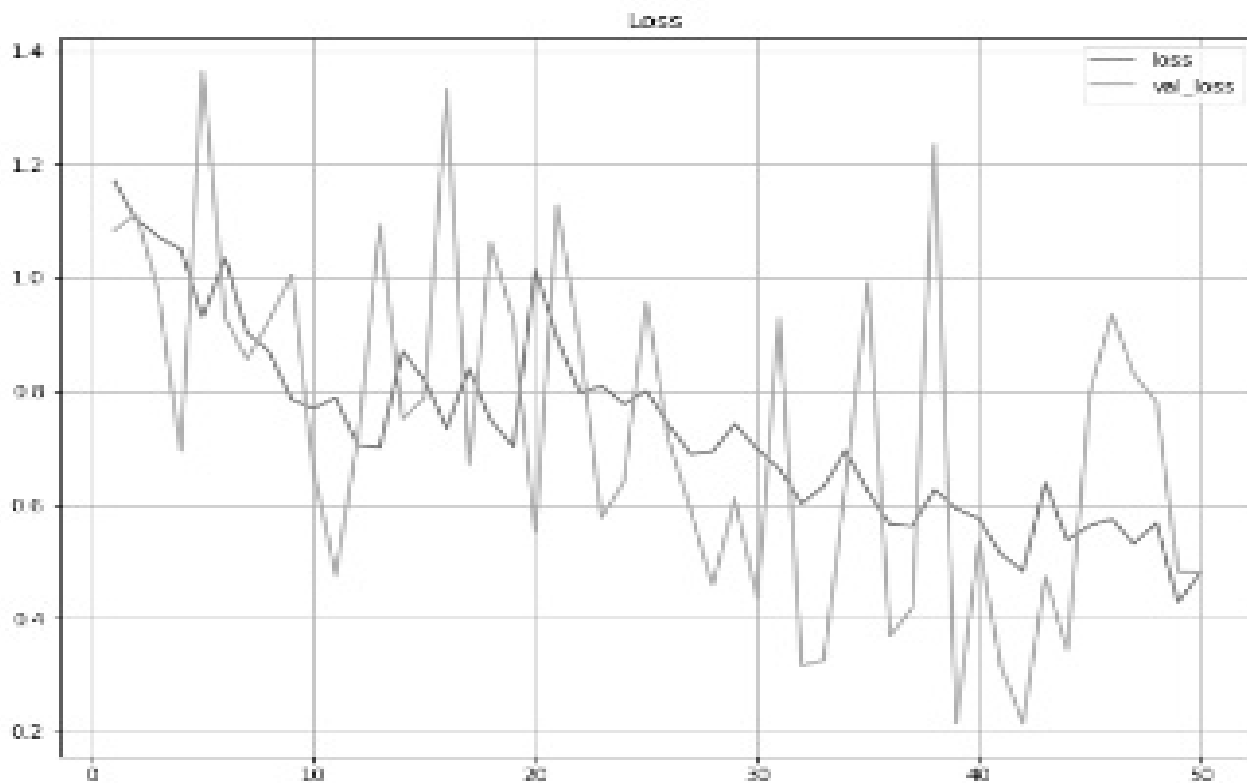


Рис. 2. График потерь

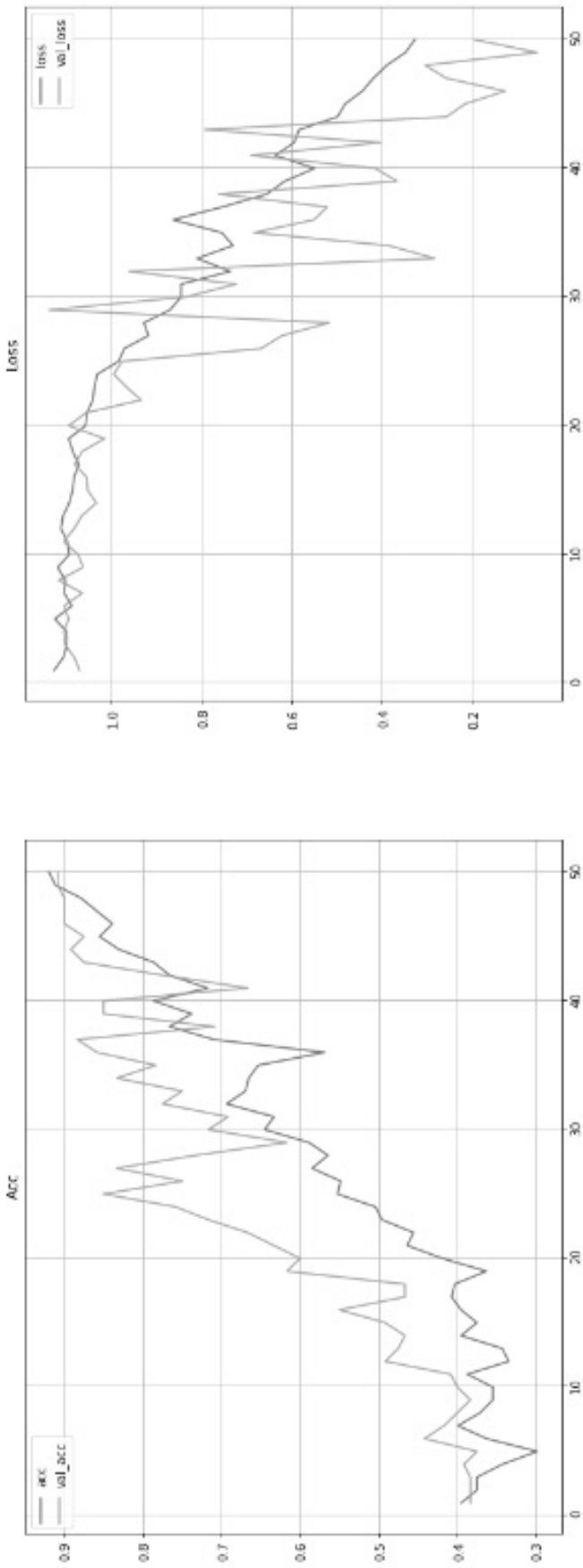


Рис. 3. График точности Рис. 4. График потерь

ваться Dropout, чтобы избежать переобучения. В дальнейшем устанавливаем настройки генератора. [13]

На этом этапе есть:

- ◆ Train и valib генераторы
- ◆ валидаторы предпочитают использовать класс последовательности, поэтому можно применить их с fit generator способ из Кераса
- ◆ model — время распределено

Теперь установим настройки генератора и выведем графики (рис 1. и рис 2.), чтобы проверить, как развивается модель.

На графике (Рис 1.) можно наблюдать то, что точность растёт, но не постоянно. Теперь посмотрим, что происходит с «потерями» (Рис 2.) .

Потеря обучения, кажется, в порядке, но можно наблюдать проблемы с потерей проверки. Возможные причины такого разброса являются:

- ◆ Недостаточно данных для проверки
- ◆ Недостаточно данных для обучения
- ◆ Модель, вероятно, недостаточно хорошо построена

#### 1.5.2. Пользовательская сеть MobileNet

Используем MobileNet. Она быстра и хорошо обучается.

Нашей модели GRU (или LSTM) требуется одно измерение, но, если получим MobileNetV2 без “верхних слоев” (это выходные данные категории, они нам не нужны), будет слой “Свертки”. Нужно добавить один слой, чтобы форма одного измерения была совместима с GRU.

Кроме того, MobileNet изначально не предназначен для обнаружения “действий”, а только для распознавания изображений. Таким образом, если настроить все слои как “неподготовленные», не будет улучшений точности или “потерь”.

Поскольку используется предварительно подготовленная модель, нужно использовать требуемую форму (224, 224, 3). [14] [15]

Был построен генератор для обучения нейронной сети и выведены графики модели (Рис 3. и Рис 4.) .

Здесь потеря валидации невелика, но достаточно хороша для экспериментов.

В итоге была выбрана пользовательская сеть MobileNet из-за быстрой и хорошей обучаемости по сравнению с ConvNet. Так же она показала лучшие результаты в потерях валидации и точности.

## 4. Заключение

В результате разработана и исследована искусственная нейронная сеть MobileNet, для улучшения качества видеофайлов и поиска объектов на ней.

При выполнении данной работы на основе разработанной нейронной сети была создана программа для улучшения качества определённого объекта, в нашем случае видеофайлов. В дальнейшем данная нейронная сеть должна будет научиться отслеживать объект в кадре. Это приложение было создано для того, чтобы люди могли найти свой автомобиль в городе и следить за ним.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.Ю. Буйко, А.Н. Виноградов Выявление действий на видео с помощью рекуррентных нейронных сетей // программные системы: теория и приложения. 2017, с. 327–345.
2. Palash Feddewar | Dr. Bharti Deshmukh Convolution Neural Network (CNN) for Video Processing: A Survey. 2022, с. 147–152.
3. Akulov M.S. Gladkikh S.A. Lankina M. Yu. Baklanov A.N. PROCESSING PHOTOS AND VIDEOS BY USING NEURAL NETWORKS IN THE LABVIEW PROGRAM. // Modern high technologies. — 2019. — № 3 (part 1) — P. 12–17.
4. Васенков Д.В. Методы обучения искусственных нейронных сетей // Компьютерные инструменты в образовании. — СПб.: Изд-во ЦПО «Информатизация образования», 2007, № 1, с. 20–29.
5. Andrej Karpathy, George Toderici, Sanketh Shetty, Thomas Leung, Rahul Sukthankar, Li Fei-Fei. Large-scale Video Classification with Convolutional Neural Networks. 2014.
6. Барский, А.Б. Логические нейронные сети: Учебное пособие / А.Б. Барский. — М.: Бином, 2013. — 352 с.
7. Редько, В.Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики / В.Г. Редько. — М.: Ленанд, 2015. — 224 с.
8. Суровцев И.С., Клюкин В.И., Пивоварова Р.П. Нейронные сети. — Воронеж: ВГУ, 1994. — 224 с.
9. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. — М.: Мир, 1992.
10. Галушкин, А.И. Нейронные сети: основы теории. / А.И. Галушкин. — М.: РИС, 2014. — 496 с.
11. Интеллектуальные технологии на основе искусственных нейронных сетей / М.А. Басараб, Н.С. Коннова. — Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 53 с.

12. Солдатова О.П. Нейроинформатика. Курс лекций. СГАУ, 2013. 130 с.
13. Игнатьев Н.А., Мадрахимов Ш.Ф. О некоторых способах повышения прозрачности нейронных сетей // Вычисл. технологии. 2003. Т. 8, № 6. С. 31–37.
14. Yann LeCun, J.S. Denker, S. Solla, R.E. Howard and L.D. Jackel: Optimal Brain Damage, in Touretzky, David (Eds), Advances in Neural Information Processing Systems 2 (NIPS\*89), Morgan Kaufman, Denver, CO, 1990
15. Y. LeCun, L. Bottou, G. Orr and K. Muller: Efficient BackProp, in Orr, G. and Muller K. (Eds), Neural Networks: Tricks of the trade, Springer, 1998.

© Иванов Вадим Олегович (vadim1999ivanov@gmail.com),

Амосов Владимир Владимирович (amosov\_vv@spbstu.ru), Коликова Татьяна Всеволодовна (kolikova\_tv@spbstu.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

# РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛГИИ УНИФИКАЦИИ ЗАГРУЗКИ ДАННЫХ В ХРАНИЛИЩЕ ДАННЫХ МОДЕЛИ DATA VAULT

## DEVELOPING A METHODOLOGY TO UNIFY DATA LOADING INTO THE DATA VAULT MODEL

*P. Konakov*

*Summary.* In the process of working with the corporate data warehouse there is a question of standardization and unification of data loading streams from the sources. A unified approach is necessary to keep the principle of actualization and historicity within the data objects loaded by different streams. This paper proposes to create an additional layer of abstraction for metadata describing the loading principle using ETL-processes. An ETL process is divided into two parts: the control flow, which is based on a pre-designed template with the worked out algorithm for collecting parameters to start the work flow that implements the logic of data loading from the source into the target table. Based on the described meta-information, the corresponding DWH component collects flows for the ETL flow orchestrator.

*Keywords:* big data, data processing, corporate data warehouse, ETL-process, standardization of development.

**Конаков Павел Олегович**

МИРЭА — Российский технологический  
университет  
konakov.po@yandex.ru

*Аннотация.* В процессе работы предприятия с корпоративным хранилищем данных встаёт вопрос стандартизации и унификации потоков загрузки данных с источников. Единый подход необходим для того, чтобы в рамках загруженных объектов данных разными потоками сохранялся принцип актуализации и историчности. В рамках данной статьи предлагается создание дополнительного слоя абстракции для метаданных, описывающих принцип загрузки при помощи ETL-процессов. ETL-процесс подразделяется на две составные части: управляющий поток, создаваемый на основе заранее разработанного шаблона с проработанным алгоритмом сбора параметров запуска рабочего потока, который и реализует логику загрузки данных из источника в целевую таблицу. На основе описанной мета-информации соответствующий компонент КХД собирает потоки для оркестратора ETL-потоков.

*Ключевые слова:* большие данные, обработка информации, корпоративное хранилище данных, ETL-процесс, стандартизация разработки.

## Введение

**В** процессе обработки больших объёмов данных предприятия всегда встаёт вопрос организации централизованного хранения, для чего зачастую используются такие модели корпоративных хранилищ данных, как Data Vault, якорное моделирование и т.д. Данные модели используют для отображения детальных изменений в данных, на основе которых можно формировать отчётность в процессе бизнес-аналитики деятельности организации.

Такие модели зачастую помимо конкретизированного и статичного набора возможных сущностей могут иметь строгие требования к процессу загрузки в них данных. Наличие данных ограничений и требований накладывают на разработчика потоков загрузки данных дополнительную нагрузку и ответственность за соблюдение этих правил и требований в своей разработке. Для конкретизации возможных проблем, которые могут появиться в процессе разработки, стоит рассмотреть конкретную модель корпоративного хранилища данных, например, Data Vault.

## Концепция модели ХД Data Vault

Модель хранилища данных Data Vault является одной из наиболее гибких моделей для разработки, позволяя выполнять её расширение при возникновении новых требований от пользователей системы. Помимо этого, данная модель предполагает, что каждая новая сущность, загружаемая с источника данных, будет грузиться в свой собственный, отдельный объект, не затрагивая изменения в других объектах. Это позволяет вести параллельную разработку сущностей среди нескольких команд, не пересекаясь друг с другом. Data Vault имеет собственную терминологию объектов, используемых для моделирования сущностей.

Хаб (Hub) — сущность, описывающая ключевые информационные объекты организации, позволяющая объединять схожие сущности по смыслу. К Хабам относятся те сущности, которые являются ключевыми объектами бизнес-процессов рассматриваемого предприятия, при этом набор сущностей данного типа зачастую бывает очень схож между разными моделями организаций, поскольку описывают базовое взаимодействие:

«Клиент», «Сотрудник», «Договор», «Заявка» и др. Функциональная значимость Хаба — хранение соответствий бизнес-ключа и сгенерированного суррогатного ключа. Это делается с целью обобщения данных из разных источников по одной сущности, при этом сам Хаб не хранит в себе никакой дополнительной информации по данной сущности [1].

Связь (Link) — сущность, связывающая несколько Хабов между собой. Для описания взаимосвязи между ключевыми сущностями, например, «Клиент-Договор», «Заявка-Сотрудник», «Заявка-Клиент», «Сотрудник-Подразделение» и других используется данный вид сущности, обеспечивая описания отношения «мно-го-ко-многим» между ключевыми объектами хранилища. Связь, как и Хаб, не является сущностью, хранящей бизнес-данные хранилища, а служит для хранения суррогатных ключей, генерируемых на основе уникальной связи между суррогатными ключами из Хабов, которые необходимо данной сущностью связать [1].

Комета (Satellite) — бизнес-сущность, формируемая на основе данных, загружаемых с какого-либо источника данных, тем самым описывает свойства либо одной из ключевых сущностей (Хаба), либо связи между этими сущностями. В качестве первичного ключа выступает сгенерированный в Хабе или Связи суррогатный ключ на основе ключа, приходящего с источника данных, тем самым Комета является одним из источников генерации новых суррогатных ключей хранилища. Поскольку разные источники данных могут по-разному описывать ключевые сущности, то принято, чтобы для каждого источника данных была создана отдельная Комета, куда и будут грузиться данные при помощи соответствующих ETL-процессов [2].

Как было отмечено ранее, данная модель хранилища данных является адаптивной под постоянно изменяемые требования пользователей, поэтому имеет возможность расширения состава моделей собственными. Единственное условие, которое должно выполняться при модификации модели — новые сущности должны составлять единое целое с хранилищем данных, должны обладать связями, которые необходимы для их структуризации и обобщения с уже имеющейся моделью данных.

В рамках модели Data Vault историчность данных соответствует формату SCD2, отслеживание изменений объектов производится на основе соотношения вычисляемой хэш-суммы, сформированной из конкатенированных неключевых атрибутов сущности. Такой подход менее гибкий, чем, например, в якорной модели, однако позволяет уменьшить количество соединений при формировании отчёта, поскольку в ней каждый

атрибут имеет свой формат историчности и условия соединения таблиц, тем самым уменьшая производительность выполнения запросов к данным).

Одним из ключевых недостатков модели можно выделить избыточность сущностей при разбиении источника, в результате чего модель достаточно сильно усложняется, в том числе и усложняется загрузка данных, поскольку необходимо загрузить данные из одной таблицы-источника в несколько таблиц модели хранилища данных.

### **Значимость унификации процесса загрузки данных**

Data Vault имеет простой набор создаваемых сущностей для хранения информации, однако при этом накладывает на разработчика ETL-потоков дополнительные требования по загрузке данных в таблицы. Большинство требований необходимо соблюдать для консистентности данных хранилища.

**Единый подход для формирования и поиска суррогатного ключа.** Хаб является таблицей с конкретным набором атрибутов и конкретным типом данных для хранимых полей. Таким образом, для загружаемых данных необходимо обеспечить условие того, что суррогатный ключ должен будет формироваться на одном и том же наборе атрибутов и типов данных. То есть в рамках одного Хаба не может в одном случае генерировать суррогатный ключ на основе строчного значения, а в другом случае на основе числового идентификатора, хранимого в данных на источнике. Или же не может быть такой ситуации, когда в Хабе в одной ситуации генерирует суррогатный ключ на основе одного поля, а в другой — на основе нескольких полей одновременно. Тем самым на разработчика возлагается обязанность соблюдения стандарта генерации суррогатного ключа.

**Консистентная загрузка данных в Хабы, Связи и Кометы.** При загрузке данных в хранилище модели Data Vault разработчик всегда должен будет грузить данные больше, чем в одну сущность: в один Хаб и одну Комету, в два Хаба, Связь и Комету и т.д. Таким образом на разработчика накладывается дополнительная ответственность по консистентной загрузке данных во все сущности, которые ему необходимы для связи данных со всем остальным хранилищем. То есть в рамках загрузки будет ошибкой, когда данные в Комету были прогружены по суррогатным ключам, которые не были прогружены в соответствующий Хаб. Также ошибкой будет, если в Связи будет прогружена и сформирована связь по суррогатным ключам, которые не были прогружены в соответствующие Хабы. Помимо этого, под-

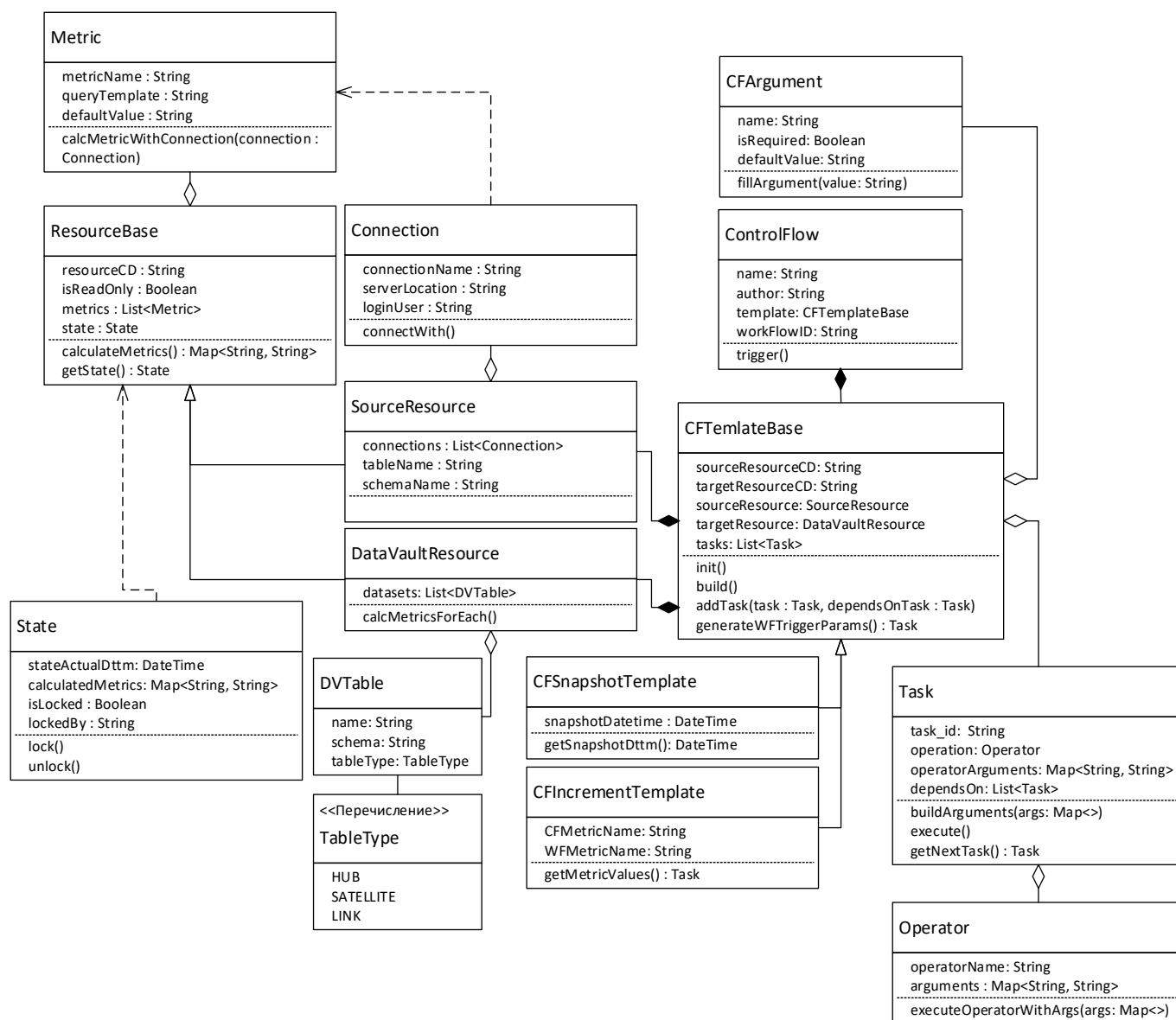


Рис. 1. Диаграмма классов компонентов управляющего потока

ход и порядок загрузки данных должен происходить в соответствии с логикой формирования данных, то есть сначала загружаются генерируемые ключи, а только потом данные, которые используют эти ключи.

**Стандартизированный подход к вычислению дельты.** Необходимо выдерживать стандартизированный в рамках всего хранилища подход к вычислению дельты загрузки данных. В том случае, когда подходы к формированию дельты загрузки различаются, нельзя гарантировать консистентность данных между разными таблицами, которые используются для дальнейшей работы с инкрементным формированием витрин и отчётов [3]. Тем самым, все разработчики, участвующие в процессе интеграции потоков загрузки данных в хранилище,

должны договориться о едином подходе по вычислению дельты загрузки и строго соблюдать его.

В рамках данного вопроса можно выделить ещё множество аспектов, которые необходимо стандартизировать и поддерживать со стороны разработки ETL-потоков. Поскольку в процессе разработки присутствует человеческий фактор, многие требования к ETL-потокам разработчиками могут интерпретироваться по-разному или вовсе упущены. В результате таких упущений могут возникнуть инциденты при работе с данными в хранилище.

По данной причине предлагается унифицировать процесс загрузки данных в хранилище данных Data



Vault посредством формирования дополнительного слоя абстракции, через который разработчики будут задавать параметры для загрузки данных через ETL-поток. Таким образом, разработчики могут управлять только информацией о таблице-источнике, целевых таблицах и принципах заполнения полей (маппинг), а логика работы потока будет формироваться системой самостоятельно на основе представленной информации о необходимых объектах.

Описание структурной модели реализации построения ETL-потоков

Как было сказано ранее, для унификации загрузки данных в хранилище модели Data Vault предлагается сформировать дополнительный слой абстракции метаданных, на основании которого система уже будет выстраивать ETL-потоки. Система сборки ETL-потоков, опираясь на информацию о таблице источника, целевых таблицах и маппинге, будет выстраивать последовательность действий при загрузке в соответствии обговоренным стандартом. Таким образом потоки будут шаблонизированы, структура потоков будет генерироваться в соответствии с тем, какой объект для загрузки был указан в метаданных потока.

Для загрузки данных необходимо два потока: управляющий поток (Control Flow) и рабочий поток (Work Flow). Управляющий поток служит для предварительной проверки информации о загрузке и подготовки параметров для дальнейшей работы ETL-потока. После проверки необходимой информации управляющий поток передаёт параметры запуска в рабочий поток, который реализует ETL-процесс по загрузке данных из источника в целевую таблицу [4].

Управляющий поток предлагается реализовать с использованием ресурсной модели. Control Flow во время своей работы будет обращаться к менеджеру ресурсов хранилища с целью проверки доступности данных таблиц для захвата и загрузки данных. В том случае, когда ресурсы доступны для работы, их внутренние состояния с рассчитанными метриками передаются в качестве входных параметров рабочего потока. Поскольку в зависимости от типа загрузки данных (снимок или инкремент) требуется разная информация, то и управляющий поток будет шаблонизирован и формировать нужный набор параметров запуска Work Flow [4]. Структурная модель управляющего потока в виде диаграммы классов UML представлена на Рисунке 1.

Управляющий поток генерируется при помощи базового шаблона, на основе которого команда разработчика хранилища данных может разработать реализации для сборки конкретных параметров для управляюще-

го потока. Для шаблонов управляющего потока также можно задать набор параметров, которые разработчик ETL-потока должен указать в качестве входного набора данных, на основе которого будет генерироваться управляющий поток по шаблону. Поток состоит из задач, которые образуют собой последовательность взаимосвязанных действий, некоторые из которых могут выполняться параллельно. Задачи являются конкретной реализацией выполнения какого-либо действия, описываемого при помощи оператора. Оператором может быть запрос в базу данных, запрос к веб-сервису, выполнение команды в Unix-терминале и т.д.

Управляющий поток для сбора параметров запуска рабочего потока должен использовать информацию о таблице источника и таблице приёмника, куда будет загружаться данные при помощи разрабатываемого ETL-процесса. В качестве модели для представления данной информации будет использоваться ресурсная модель, где структурной единицей ресурса является таблица, участвующая в потоке либо в качестве источника, либо в качестве приёмника [5]. В рамках ресурса рассчитываются конкретные метрические показатели (метрики), отражающие текущее состояние ресурса на момент времени запроса к данному ресурсу.

Метрики необходимы для того, чтобы сопоставить показатели актуальности данных между последней загрузкой данных и данными, которые на данный момент находятся на источнике данных. Если данные показатели отличаются, то можно считать, что на источнике появились новые данные, которые стоит прогрузить при помощи запуска рабочего потока, в ином случае запуск потока смысла не имеет [6].

Метрика рассчитывается на основе запроса, который выполняется при помощи параметров подключения к конкретному объекту расчёта. Это может быть как само хранилище данных, в которое производится загрузка данных, так и сервер с метаданными, куда предварительно записывается информация о загружаемых данных. На основе рассчитываемых метрических показателей ресурса формируется его состояние, по которому можно отслеживать доступность ресурса. Также при помощи состояния конкретного ресурса есть возможность блокировки его использования с целью построения грамотного управления доступом к ресурсам при асинхронной работе ETL-потоков, использующих одни и те же объекты для загрузки. Описанного набора метаданных достаточно, чтобы на основе него сформировать полноценный управляющий поток, выполняющий функцию формирования параметров запуска рабочего потока.

Рабочий поток ETL-процесса служит реализацией загрузки данных из таблицы-источника в целевые объ-

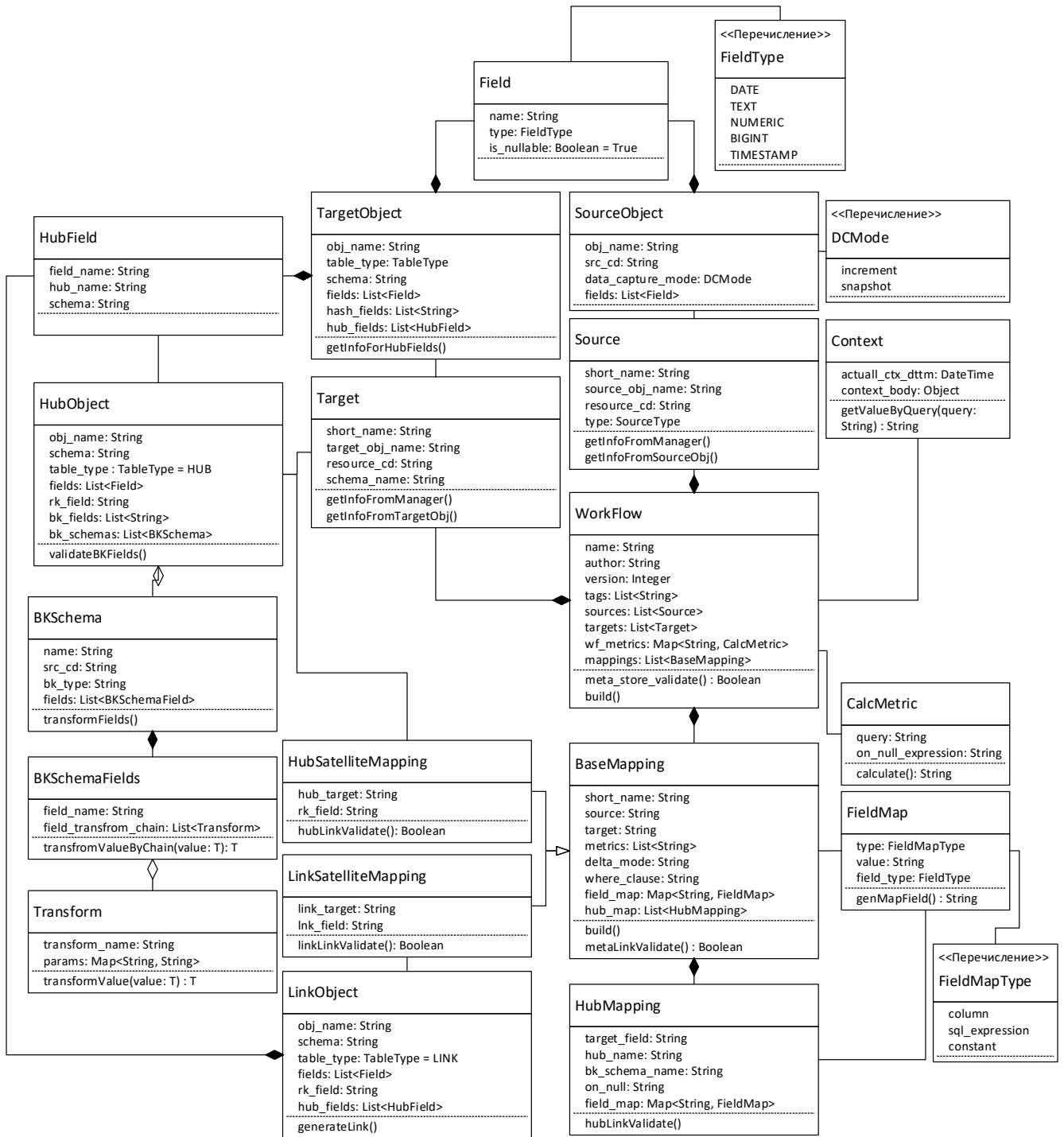


Рис. 2. Диаграмма классов компонентов рабочего потока

екты с сопутствующими шагами по генерации суррогатных ключей в связующие объекты хранилища данных. Как отмечалось ранее, шаблонизация рабочего потока необходима для формирования стандартизированного подхода по загрузке данных в хранилище. На основе описания абстрактных моделей потока, включающих в себя источник, целевой объект и объект маппинга, си-

стема может формировать поток с корректной последовательностью действий по загрузке данных и генерации суррогатных ключей в соответствующие таблицы хранилища данных. По сути своей рабочий поток также представлен в виде направленной последовательности задач, выполняющих конкретные действия по реализации ETL-процесса с дополнительной интеграцией с дру-



Рис. 3. Диаграмма компонентов платформы корпоративного хранилища данных

гими компонентами системы, управляющих состояниями ресурсов хранилища данных. Структурная модель рабочего потока в виде диаграммы классов представлена на рисунке 2.

Стоит отметить, что в данной модели отсутствуют явно определение задач и выполняемых операций потоком, поскольку вся логика работы будет основываться на описанных разработчиком ETL-потока метаданных: описание источника данных, описания целевой таблицы данных (а также сопутствующих для загрузки таблиц Связей и Хабов) и описания основных параметров рабочего потока.

Work Flow объединяет в себе все метаданные потока загрузки данных, проверяет ссылочную целостность между используемыми в данном потоке объектами. Ссылочная целостность и взаимосвязь между объектами достигается при помощи коротких названий объектов и их использовании при описании составных частей потока. Таким образом, в объекте маппинга рабочего потока указываются источник и целевой объект через их короткое название из sources и targets. Также короткие наименования используются для самих потоков загрузки конкретных объектов, чтобы выделять задачи по загрузке для объекта в отдельную смысловую часть.

Наличие конкретных объектов метаданных в потоке отвечает за соответствующую часть работы ETL-про-

цесса: файл метаданных таблицы источника отвечает за процесс захвата данных с источника, метаданные маппинга отвечают за трансформацию данных и генерацию необходимых для целостности данных суррогатных ключей, метаданные целевых таблиц, соответственно, отвечают за процесс загрузки данных в соответствующие объекты хранилища. Стоит отметить, что некоторые атрибуты объектов метаданных являются опциональными, то есть их наличие или отсутствие в объекте напрямую влияет на набор выполняемых задач в рамках соответствующего раздела потока.

Структуру метаданных можно выделить в отдельный компонент системы генерации ETL-потоков, к которому система будет обращаться для формирования новых потоков и поддержания работы старых в случае изменения внутренних принципов работы ETL-процесса. «Конструктор» потоков будет предварительно собирать всю метаинформацию о потоке, производить проверку ссылочной и структурной целостности объектов. В том случае, когда проверка была выполнена без ошибок, выполняется сборка потока в соответствии с содержанием метаданных. Как было упомянуто ранее, поток может взаимодействовать с внешними сервисами по управлению информационными ресурсами хранилища данных [5]. Диаграмма компонентов, описывающая интегрирование описанной методологии унификации разработки потоков, представлена на Рисунке 3.

В платформе корпоративного хранилища данных реализуется инструмент централизованного построения ETL-потоков, соответствующих стандартам их разработки. От прикладных пользователей будет требоваться только описание объектов источника, целевых объектов и объекта настройки потоков (управляющего и рабочего). Построение потоков на основе данной информации ложится на соответствующий компонент-конструктор, реализуемый разработчиками платформы.

В качестве средства описания метаданных потоков можно применять как графические, так и файловые средства описания. Для описания объектов подходят данные в формате JSON (Java Script Object Notation) и YAML (Yet Another Markup Language), однако второй вариант можно рассматривать в большем приоритете, поскольку имеет ряд внутренних ограничений по описанию (например, нельзя описывать несколько атрибутов с одним названием в рамках одного узла). Таким образом, можно добиться более строгого подхода к описанию объектов метаданных.

## Заключение

Как упоминалось ранее, при разработке корпоративных хранилищ данных часто встаёт вопрос стандартизации подхода к загрузке данных. Это важная составляющая при организации процесса загрузки данных в хранилище, особенно для модели Data Vault, поскольку при работе большой команды может возникнуть фактор рассогласования подхода к загрузке данных (последовательности выполнения шагов, принципы генерации суррогатных ключей, подход к вычислению дельты изменений и др.). В качестве реализации

предлагается спроектировать дополнительный слой абстракции метаданных, на основе будут конструироваться ETL-потоки.

В данном решении ETL-процесс подразделяется на два потока: управляющий поток (Control Flow), формирующий параметры запуска рабочего потока (Work Flow), который и реализует захват, обработку и загрузку данных. Для управляющего потока концептуально предлагается реализовать подход к описанию сущностей через параметры заранее разработанного шаблона, который будет собирать параметры запуска рабочего в соответствии с предполагаемым принципом загрузки (инкрементальная загрузка или загрузка снимка данных). Шаблоны могут расширяться и варьироваться в зависимости от потребностей пользователей.

Описание работы рабочего потока происходит посредством описания соответствующих объектов источника, целевой таблицы и алгоритма загрузки данных из источника в целевой объект. Принцип загрузки и структура формируемого потока напрямую зависят от описываемой структуры объектов. Так, потоки, загружающие данные в объекты одного типа, будут иметь общий подход к загрузке.

Такое решение не только позволит формализовать и стандартизировать загрузку данных из разных источников в хранилище модели Data Vault, но и значительно сократить затраты на разработку ETL-потоков, поскольку разработчики смогут сконцентрировать своё внимание на детальном описании сущностей, которые участвуют в данном процессе, а не описывать повторяющиеся действия между потоками.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Linstedt, Dan. "Data Vault Series 2 — Data Vault Components". Data Vault Series. The Data Administration Newsletter. [Электронный ресурс] URL: <https://tdan.com/datavault-series-2-data-vault-components/5155> (Дата обращения: 10.01.2022)
2. Linstedt, Dan. "Data Vault Series 4 — Link Tables". Data Vault Series. The Data Administration Newsletter. [Электронный ресурс] URL: <https://tdan.com/datavault-series-4-link-tables/5172> (Дата обращения: 10.01.2022)
3. Tim Mitchell. The What, Why, When, and How of Incremental Loads. Tim Mitchell — Data Solution Architect [Электронный ресурс] URL: <https://www.timmitchell.net/post/2020/07/23/incremental-loads/> (Дата обращения: 20.11.2022)
4. Linstedt, Dan. "Data Vault Series 5 — Loading Practices" Data Vault Series. The Data Administration Newsletter. [Электронный ресурс] URL: <https://tdan.com/data-vault-series-5-loading-practices/5285> (Дата обращения: 10.01.2022)
5. Конаков П.О., Смоленцева Т.Е. Разработка архитектуры системы управления ресурсами в рамках модели хранилища данных DATA VAULT 2.0 // Сетевой журнал «Столыпинский вестник», 2022, № 9, URL: <https://stolypin-vestnik.ru/stolypinskij-vestnik-9-2022/>
6. Конаков П.О., Смоленцева Т.Е. Разработка методологии применения метрик алгоритмов для процессов актуализации данных // Научный журнал «НАУЧНЫЙ АСПЕКТ», 2022, № 6, URL: <https://na-journal.ru/6-2022-informacionnye-tehnologii/>

© Конаков Павел Олегович (konakov.po@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИЙ МОДЕЛЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

**METHODOLOGY FOR TEACHING  
COMPOSITIONS OF CLASSIFICATION  
MODELS TO INCREASE THE ACCURACY  
OF OUTPUT DATA ON THE ACTIVITIES  
OF EDUCATIONAL ORGANIZATIONS**

**R. Lomovtsev  
O. Romashkova**

*Summary.* The article is devoted to the method of applying the composition of classification models on the activities of secondary schools in the regional education authorities. In addition, the article describes the problems of initial data on the effectiveness of educational organizations and suggests a methodology for preparing initial data for training models.

*Keywords:* data processing models, classification models, educational organization, composition of models.

**Ломовцев Роман Сергеевич**

Аспирант, Московский городской педагогический  
Университет»

feedback.roman@gmail.com

**Ромашкова Оксана Николаевна**

Доктор технических наук, профессор

Профессор, Российская академия народного  
хозяйства и государственной службы при Президенте

РФ, г. Москва, Россия

ox-rom@yandex.ru

*Аннотация.* Статья посвящена методу применения композиции моделей классификации для данных о деятельности образовательных организаций на региональном уровне управления образованием. Кроме того, в статье описаны проблемы исходных данных об эффективности образовательных организаций и предложена методика подготовки исходных данных для обучения моделей.

*Ключевые слова:* модели обработки данных, модели классификации, образовательная организация, композиция моделей.

## Введение

Средства интеллектуального анализа данных все чаще применяются в различных сферах экономики. С использованием таких средств сегодня производится сегментация клиентской базы для формирования наилучших клиентских предложений, прогнозирования спроса, выявления ассоциативных правил.

Вместе с тем, в сфере образования, например, преобладают государственные образовательные организации, существует большое количество нормативно-правовых актов, регулирующих деятельность образовательных организаций и органов государственной власти регионального и муниципального уровней.

Ввиду этого сегодня очевидна сравнительно низкая степень инновационности деятельности по управлению сферой образования, эффективности внутренних процессов.

Процесс информатизации образования (применения новых информационных технологий) развивается

медленнее, чем во многих других сферах экономики. Это объясняется, кроме прочего, особой ролью образования в жизни общества. За годы своего развития сфера образования приобрела устойчивые традиции, принципы и концепции осуществления своей деятельности, которые передавались из поколения в поколение, сформировав устойчивую консервативную систему. В таких условиях процесс цифровой трансформации образования протекает особенно медленно.

За последние годы учебная литература стала дублироваться в цифровом виде, появились новые средства обучения (цифровые интерактивные доски, проекторы), традиционные метрики оценки качества образования поэтапно уступили место единым проверочным работам — для выпускников школ введены единый государственный экзамен (ЕГЭ) в 11-х классах, государственная итоговая аттестация (ГИА) в 9-х классах, все-российские проверочные работы (ВПР).

Введение подобных единых метрик оценки качества образования позволило упростить процесс сравнения образовательных организаций, а значит, и введения рейтинговых шкал и классификаций для последних.

## 1. Постановка задачи классификации данных о деятельности образовательных организаций

Сегодня в рамках применения интеллектуального анализа данных выделяют целый комплекс задач:

1. Классификация;
2. Кластеризация;
3. Поиск ассоциативных правил;
4. Последовательные шаблоны;
5. Регрессия;
6. Поиск отклонений.

Перечисленные задачи интеллектуального анализа данных можно поделить на две группы: обучения с учителем и обучения без учителя. Рассматриваемая в данной статье задача классификации относится к классу задач обучения с учителем.

Сущность задачи классификации заключается в группировке данных, содержащихся в выборке, в соответствии с некоторыми признаками, характерными для данной группы. В отличие от задачи кластеризации, правила отнесения объектов к той или иной группе сформулированы заранее неявным образом в специальной обучающей выборке.

Постановка задачи классификации для данных о деятельности образовательных организаций зависит от целей анализа данных и набора параметров в выборке.

Для целей оценки эффективности деятельности отдельных педагогических работников образовательных организаций выборка должна содержать данные о результатах обучающихся (в рамках диагностических мероприятий и экзаменов), чьим учителем является педагогический работник.

Для целей анализа эффективности работы сотрудников образовательных организаций по профилактике правонарушений выборка должна содержать массив данных, связанных с количеством и долей обучающихся (от общего числа обучающихся в образовательной организации), состоящих на внутреннем школьном учете, количеством и долей обучающихся (от общего числа обучающихся в образовательной организации), состоящих на учете в органах внутренних дел МВД России, численность и доля обучающихся, состоящих на учете и не совершивших за очередной отчетный год правонарушения.

Основная цель анализа данных образовательных организаций на региональном уровне связана с оценкой качества образования в образовательных органи-

зациях как самостоятельных единицах. В целях оценивания образовательных организаций выборка данных должна содержать информацию о результатах независимых диагностических мероприятий и государственных экзаменов. Примерный перечень таких проверок и экзаменов включает:

1. Государственную итоговую аттестацию (ГИА-9);
2. Единый государственный экзамен (ЕГЭ);
3. Всероссийские проверочные работы;
4. Региональные диагностики.

В рамках данной задачи классы модели классификации могут быть сопоставлены учебным профилям образовательных организаций либо определенным диапазоном результатов обучающихся [1].

## 2. Формирование выборки для обучения моделей классификации

Обучающая выборка должна отвечать двум основным требованиям:

1. Выборка должна состоять из агрегированных данных об образовательных организациях;
2. Выборка должна основываться на мотивированной классовой принадлежности.

Под агрегированными данными подразумевается, что исходное множество накопленных в хранилище данных фактов (транзакций) должно быть суммировано (агрегировано) до таких величин, как:

1. Средний балл/средняя оценка;
2. Минимальный балл/минимальная оценка;
3. Максимальный балл/максимальная оценка;
4. Доля учеников, получивших определенную оценку;
5. Успеваемость (доля учеников, получивших оценку «3», «4», «5»);
6. Качество (доля учеников, получивших оценку «4», «5»).

Под мотивированной классовой принадлежностью подразумевается, что та или иная образовательная организация должна быть отнесена к тому или иному классу на основании экспертных заключений/оценок/рейтинговой принадлежности/профильной направленности программ обучения в образовательных организациях.

Кроме того, для эффективности обучения композиции моделей классификации размер выборки должен быть больше, чем при обучении единственной модели классификации. Количество образцов для каждого из представленных классов не должно отличаться в значительной степени.

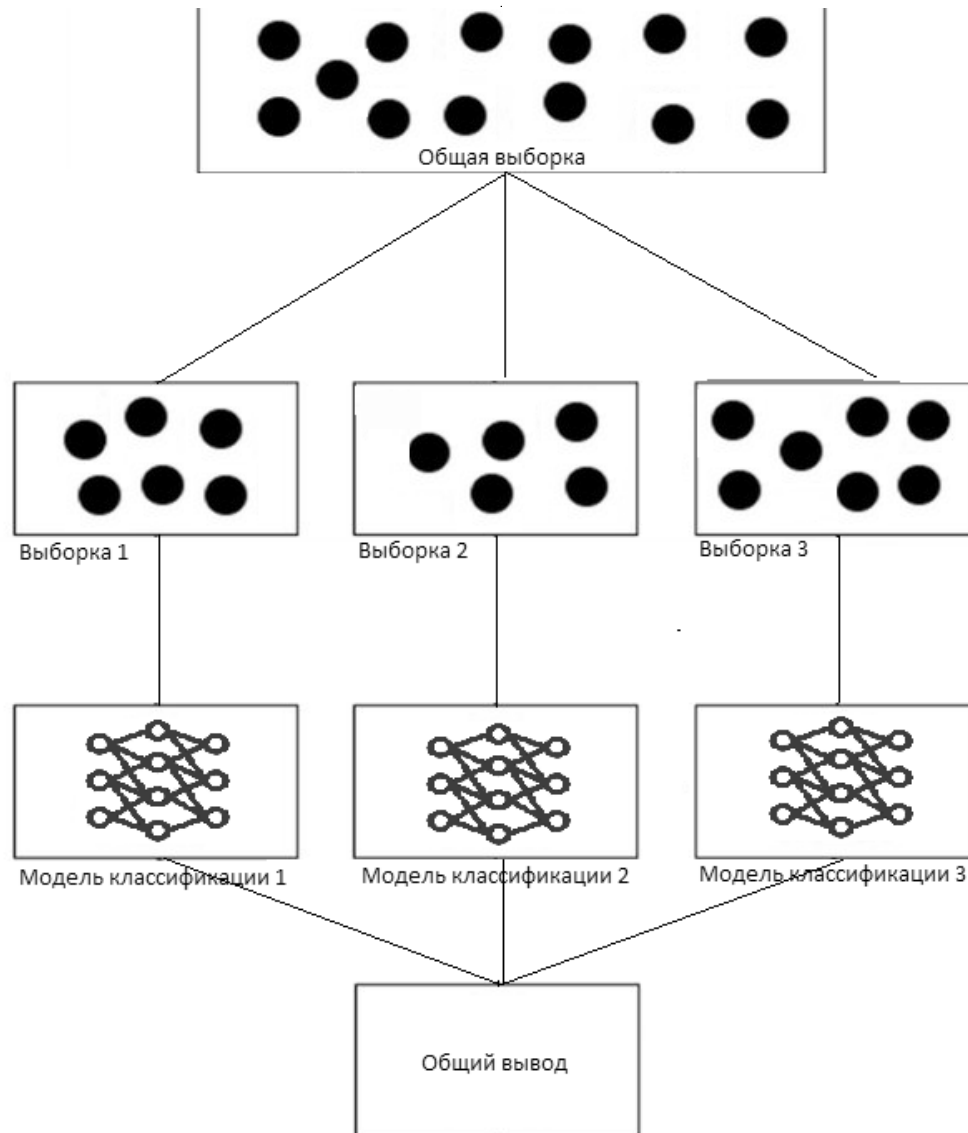


Рис. 1. Схема работы ансамбля моделей классификации

### 3. Сегментация выборки и обучение композиции моделей классификации

Бэггинг (бутстрэп-агрегирование) — это метаалгоритм обучения композиций моделей классификации. Идея метаалгоритма заключается в автономном обучении моделей классификации и их последующем обобщении, за счет чего повышается общая стабильность моделей, а, следовательно, и точность будущей классификации (рисунок 1).

Концепция метаалгоритма не подразумевает наличие обязательных требований к исходной выборке данных, сферам применения, а также не содержит правил и условий обучения моделей. Таким образом, концепция закладывает лишь основные принципы мно-

жественного обучения моделей, их комбинирования. На основе концепции возможно создание собственных алгоритмов, адаптированных к применению в конкретной предметной области.

В рамках концепции (метаалгоритма) бэггинга предусмотрено:

1. Разбиение исходной выборки на подмножества произвольным образом;
2. Обучение моделей автономно на каждой из выборок;
3. Объединение результатов классификации.

Целесообразность применения концепций данного метаалгоритма при анализе данных об эффективности образовательных организаций объясняется миними-

Таблица 1. Частота сдачи предметов по выбору и доля результатов ниже допустимого уровня для допуска к участию в конкурсе в вузах.

Предмет	Сдало ЕГЭ-2022, тыс. чел.	%	Доля результатов за пределами диапазона среднего отклонения от среднего значения,%
Русский язык (100%)	701	100	0
Математика (профиль)	337	48	4
Обществознание	333	48	0
Биология	143	20	15
Информатика и ИКТ	129	18	4
Физика	124	18	4
История	117	17	15
Иностранные языки	112,5	16	4
Химия	95	14	27
Литература	62	9	12
География	22	3	Н/Д, >50%

зацией влияния выбросов на итоговую оценку образовательной организации. Отдельные образовательные организации могут иметь аномальные значения по одному показателю. Это может возникнуть, в частности, в случае, когда внутренняя выборка образовательной организации невелика.

Внутренняя выборка образовательной организации — набор данных, который используется для формирования агрегированного показателя в отчетной документации.

Агрегированный показатель — это показатель, представленный в обобщенном виде, предназначенный для общего представления частных данных.

Примерами широко используемых в отчетной документации образовательных организаций агрегированных показателей являются данные о среднем, медианном, минимальном, максимальном баллах, полученных в ходе массовой диагностики уровня знаний обучающихся, например, в ходе всероссийских проверочных работ среди обучающихся одного класса.

Примером внутренней выборки образовательной организации малого объема могут быть результаты государственных экзаменов (итоговой государственной аттестации и единого государственного экзамена) по необязательным предметам. Ядро проблемы заключается в том, что в образовательных организациях, в которых численность обучающихся выпускных классов ниже среднего показателя, велика вероятность того, что некоторые предметы по выбору не будут выбраны ни одним обучающимся, либо предмет по выбору будет

сдавать лишь один обучающийся образовательной организации. Общий результат образовательной организации, полученный на основе данных лишь по одному обучающемуся, может являться выбросом (аномально малым или большим значением, не коррелирующим с общим уровнем подготовки в образовательной организации).

Рассмотрим наиболее и наименее часто сдаваемые предметы по выбору среди выпускников образовательных организаций среднего образования (таблица 1).

В ходе проведенного сбора данных о результатах сдачи единого государственного экзамена по предметам по выбору была установлена зависимость между долей выбросов (отсутствующими значениями и значениями, за пределами допустимых для участия в конкурсе при поступлении в высшие учебные заведения) и федеральными данными о популярности предметов по выбору среди выпускников средних образовательных организации в Российской Федерации [2, 3].

Как видно из таблицы 1, частота сдачи предмета по выбору в некоторой степени связана с вероятностью возникновения значения, которое ниже допустимого порога для поступления в высшие учебные заведения.

Следует заметить, что в выборке отсутствуют данные о сдаче экзамена по географии ввиду абсолютной редкости этого показателя (вероятность отсутствия показателя в отчетной документации образовательной организации значительно больше 50%). Что делает его



непригодным для сравнения показателей образовательных организаций.

Использование разных сегментов общей выборки данных позволяет минимизировать влияние выбросов на общий результат классификации, при этом в качестве основы (обучающей выборки) могут выступать:

1. Данные о классовой принадлежности образовательных организаций, составленные на основании оценок по аналогичным показателям с участием экспертов и/или специальных алгоритмов за прошедшие отчетные периоды;
2. Данные о классовой принадлежности, составленные на основании данных формулы;
3. Данные о классовой принадлежности, составленные на основании формулы и экспертных оценок для определения ценностных коэффициентов показателей.

В любой рейтинговой оценке могут быть выделены градации — специальные диапазоны, определяющие классовую принадлежность образовательных организаций, например, образовательные организации, получившие высокий или низкий общий балл, могут быть отнесены к отдельным классам.

#### 4. Объединенный вывод композиции моделей классификации

Завершающей процедурой классификации образовательных организаций с применением концепции бутстрэп-агрегирования является формирование объединенного вывода композиции моделей классификации.

Среди методов формирования объединенного вывода можно выделить следующие:

1. Метод большинства;
2. Метод абсолютного согласия;
3. Метод среднего класса.

Идея методов большинства и абсолютного согласия заключается в простом голосовании моделей классификации. Согласно указанным методам, если все или

большинство моделей классификации проголосовали за принадлежность образовательной организации к одному и тому же классу, то общий вывод моделей также указывает на этот же класс.

Метод среднего класса не предлагается к использованию в рамках метаалгоритма бутстрэп-агрегирования, однако, в том случае, когда классы образовательных организаций были образованы на основании рейтинга образовательных организаций путем их ранжирования по качеству обучения, т.е. в порядке убывания или возрастания рейтинговой оценки, тогда классы представляют собой последовательную структуру, при которой каждая образовательная организация, принадлежащая более высокому классу, с большой вероятностью будет иметь более высокую общую оценку деятельности либо более высокие образовательные результаты.

Благодаря такой последовательности общий вывод моделей в бутстрэп-агрегировании можно рассматривать как средний класс, предложенный несколькими моделями классификации. Таким образом, модификация процесса анализа данных, основанная на совмещении моделей согласно концепции бутстрэп-агрегирования, способна повысить качество принятия управленческих решений в органах управления образованием на региональном уровне [4, 5].

## Заключение

В статье описана методика применения ансамблей моделей классификации согласно метаалгоритму бутстрэп-агрегирования. Предложенная модификация алгоритма позволяет повысить степень точности итогового результата классификации образовательных организаций за счет проведения итогового голосования моделей классификации. Кроме того, выявлены проблемы исходных данных об эффективности образовательных организаций [6, 7] и предложена методика подготовки исходных данных для обучения моделей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ромашкова О.Н., Ермакова Т.Н. Применение информационных технологий для анализа показателей качества обучения образовательного комплекса // В сборнике: Технологии информационного общества. X Международная отраслевая научно-техническая конференция: сборник трудов. 2016. С. 388–389
2. Gaidamaka, Y.V., Romashkova, O.N., Ponomareva, L.A., Vasilyuk, I.P. Application of information technology for the analysis of the rating of university // В сборнике: CEUR Workshop Proceedings 8. Sep. "ITMM 2018 — Proceedings of the Selected Papers of the 8th International Conference "Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems"" 2018. С. 46–53.
3. Ломовцев, Р.С. Особенности организации хранения данных о состоянии региональной образовательной среды / Р.С. Ломовцев // Открытая наука 2021: Сборник материалов научной конференции с международным участием, Москва, 22 апреля 2021 года. — Москва: Издательство «Aegitas», 2021. — С. 343–348.

4. Ломовцев, Р.С. Процесс интеллектуальной оценки деятельности региональных образовательных организаций среднего образования / Р.С. Ломовцев, О.Н. Ромашкова // Международная молодежная научная школа-конференция «Цифровая трансформация реального сектора экономики»: Сборник тезисов докладов, Москва, 21 мая 2021 года. — Москва: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2021. — С. 14–16.
5. Ломовцев, Р.С. Сводная модель поддержки принятия решений в управлении образовательной средой / Р.С. Ломовцев // #ScienceJuice2021: Сборник статей и тезисов, Москва, 22–26 ноября 2021 года / Составители: Е.В. Страмнова, С.А. Лепешкин. — Москва: Издательство ПАРАДИГМА, 2021. — С. 681–688.
6. Ромашкова О.Н., Ермакова Т.Н. Методика выбора информационной модели для оценки показателей качества обучения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2015. № 2. С. 14–20.
7. Ромашкова О.Н., Пономарева Л.А., Василюк И.П. Применение инфокоммуникационных технологий для анализа показателей рейтинговой оценки вуза // В книге: Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. 2018. С. 65–68

---

© Ломовцев Роман Сергеевич ( [feedback.roman@gmail.com](mailto:feedback.roman@gmail.com) ), Ромашкова Оксана Николаевна ( [ox-rom@yandex.ru](mailto:ox-rom@yandex.ru) ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Московский городской педагогический университет

# АЛГОРИТМ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПОЖАРОВ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЯХ

## ALGORITHM FOR DETECTING FIRES IN AGRICULTURAL FIELDS

**D. Lyakhmanov**  
**S. Kapranov**  
**M. Stepanenko**

*Summary.* This article discusses search algorithms for smoke-like structures in a video stream in order to identify fires in open agricultural areas. The principle of the search is based on the temporal analysis of the change in the brightness index of the pixel groups of the video stream. For pixel groups belonging to the video stream of combustion products, an irregular smooth change in brightness is characteristic, which makes it possible to distinguish them from other dynamic objects, such as clouds or moving objects. The proposed algorithm makes it possible to determine smoke-like structures from a video stream, based on video streams of extremely low resolutions. This advantage makes it possible to detect fires at large distances, without the use of high-resolution video cameras. The test results showed the consistency of the proposed algorithm and the possibility of its use in video surveillance systems for the state of agricultural areas.

*Keywords:* fire detection, agricultural areas, video stream analysis, smoke-like structures, low resolution.

**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

**Степаненко Мария Анатольевна**

К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Нижегородский  
государственный технический университет им.  
Р.Е. Алексеева»  
ma.stepanenko@gmail.com

*Аннотация.* В данной статье рассматриваются алгоритмы поиска в видеопотоке дымоподобных структур с целью выявления очагов возгорания на открытых сельскохозяйственных площадях. Принцип поиска основан на временном анализе изменения показателя яркости пиксельных групп видеопотока. Для пиксельных групп, принадлежащих видеопотоку продуктов горения, характерно нерегулярное плавное изменение яркости, что позволяет отличать их от других динамических объектов, таких как облака или перемещающиеся предметы. Предлагаемый алгоритм позволяет определять дымоподобные структуры по видеопотоку, основываясь на изображениях экстремально малых разрешений. Данное преимущество дает возможность определять очаги возгорания на больших расстояниях без использования видеокамер высокого разрешения и иных специализированных устройств. Результаты тестирования показали состоятельность предлагаемого алгоритма и возможность его использования в системах видеонаблюдения за состоянием сельскохозяйственных площадей.

*Ключевые слова:* детектирование возгораний, сельскохозяйственные площади, анализ видеопотока, дымоподобные структуры, малое разрешение.

## Введение

Одной из наиболее актуальных и остро стоящих проблем современного сельского хозяйства является проблема пожаров на посевных площадях в периоды созревания сельскохозяйственных культур. Данный тип пожаров возникает спонтанно, и в большинстве случаев из-за отсутствия постоянно-

го наблюдения определяется уже на терминальной стадии, уничтожая тысячи гектаров посевов ежегодно. В 2022 года в одном только Ставропольском крае было зарегистрировано 1855 термических точек на площади в 33321 гектара. Статистические данные за несколько последних лет свидетельствуют о росте количества пожаров и увеличении наносимого ими материального ущерба.

Для решения данной проблемы предлагается метод выявления очагов возгораний на сельскохозяйственных площадях, основанный на анализе видеопотока. Данный метод может быть использован в устройствах и программно-аппаратных комплексах для автоматического контроля территорий с целью оповещения ответственных служб.

### Особенности выявления очагов возгораний

Для решения задачи определения очага возгорания на начальной стадии в условиях открытой местности предлагается алгоритм, основанный на анализе вариативности яркости пиксельных элементов видеопотока.

Одной из основных проблем детектирования очага возгорания является тот факт, что сама точка горения может располагаться на малом возвышении над землей и не находится в прямой видимости видеокамер. Данная ситуация наблюдается в 80% случаев и является наиболее вероятной. При этом очаг возгорания не виден длительное время и переходит в развитую стадию скачкообразно. Выявить точку горения с помощью тепловизоров или иными средствами отслеживания открытого пламени не представляется возможным, т.к. точка горения может находиться вне зоны прямой видимости тепловизора, а высокая температура окружающей среды хорошо маскирует ее в инфракрасном спектре. Исходя из этого, можно сказать, что методы прямого наблюдения и отслеживания открытого пламени являются малоэффективными для детектирования возгораний на открытой местности.

Следующей особенностью процесса горения сельскохозяйственных угодий является то, что в большинстве случаев при возникновении пожара открытое пламя видно только в терминальной стадии. На начальном этапе открытое пламя может быть выражено слабо или же совсем отсутствовать. При этом может наблюдаться активное тление с выделением большого количества сизого дыма. Использование традиционных методов детектирования точки горения, основанных на распознавании открытого пламени, в данном случае показывают крайне низкие результаты.

Одним из основных требований, накладываемых на детектор, является радиус наблюдения не менее  $R=2$  км. Данное требование продиктовано невозможностью более плотного размещения точек наблюдения в сельскохозяйственных угодьях. Использование камер с высоким аппаратным разрешением (более  $1920 \times 1080$  пикселей) приводит к тому, что на границе видимого диапазона каждый пиксел матрицы охватывает участок шириной  $L > 2,18$  метра, что позволяет различать только

объекты, геометрические размеры которых многократно превосходят величину  $L$ . В большинстве случаев в начальной стадии развития пожара размер зоны горения не превышает нескольких метров, что делает ее практически неразличимой на расстоянии  $R=2$  км с использованием видеокамер с разрешением  $1920 \times 1080$  пикселей. Решение данной проблемы путем использования видеокамер с более высоким разрешением имеет два серьезных недостатка. Первый связан с тем, что увеличение размера аппаратного разрешения ведет к экспоненциальному росту объема вычислений, производимых при обработке видеопотока. Вторым недостатком связан с увеличением стоимости оборудования, используемого для выявления очагов возгорания.

Все перечисленные выше особенности накладывают серьезные требования к разрабатываемому алгоритму обнаружения очагов возгорания и указывают на невозможность применения традиционных методов, основанных на поиске открытого пламени.

### Метод выявления дымоподобных структур

Предлагаемый алгоритм выявления очагов возгорания основан на анализе видеопотока, а именно поиске в нем оптических элементов схожих по своему поведению с дымоподобными структурами. На основании перечисленных выше особенностей к алгоритму предъявляются следующие требования:

- ◆ возможность различения продуктов горения и дымоподобных структур на основании малых пиксельных изображений;
- ◆ отличие скоплений продуктов горения от оптически схожих структур (облаков, конвекционных атмосферных искажений и т.д.);
- ◆ различение скоплений продуктов горения при ярком дневном освещении.

В основу предлагаемого алгоритма положен принцип поведенческого анализа отдельных пикселей нормализованного полутонового видеопотока во времени. В качестве основной наблюдаемой характеристики выступает цветовая интенсивность пикселей на кадрах видеопотока. Для получения статистики изменения интенсивности цвета из видеопотока с некоторым интервалом  $T$  извлекается выборка, состоящая из  $N$  кадров. Далее для каждого пиксела видеопотока с координатами  $(x, y)$  формируется временной ряд

$$B^{xy} = \{b_i^{xy}\}_{i=1}^N,$$

где  $b_i^{xy}$  — это яркость пиксела на  $i$ -м кадре выборки. Каждый временной ряд  $B^{xy}$  несет в себе информацию о том, каким образом меняется яркость участка кадра

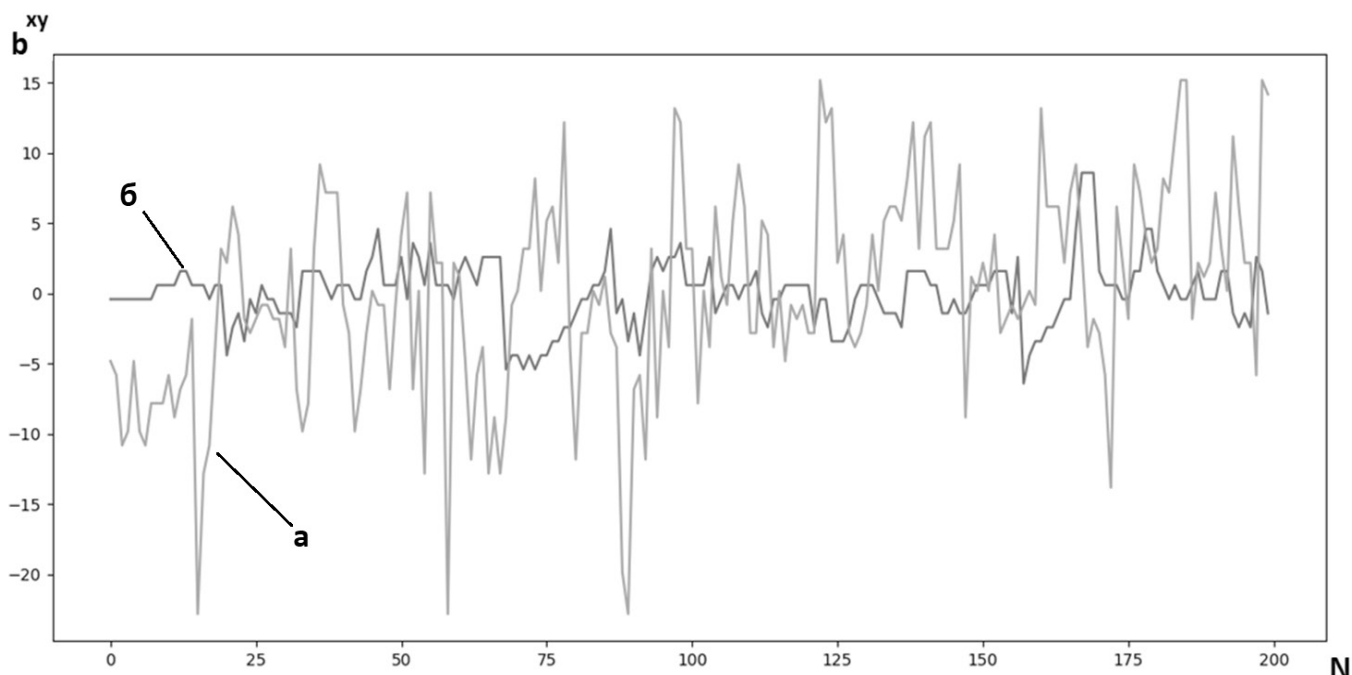


Рис. 1. Временные ряды изменения яркости пикселей: а — продуктов горения, б — окружающей полевой растительности

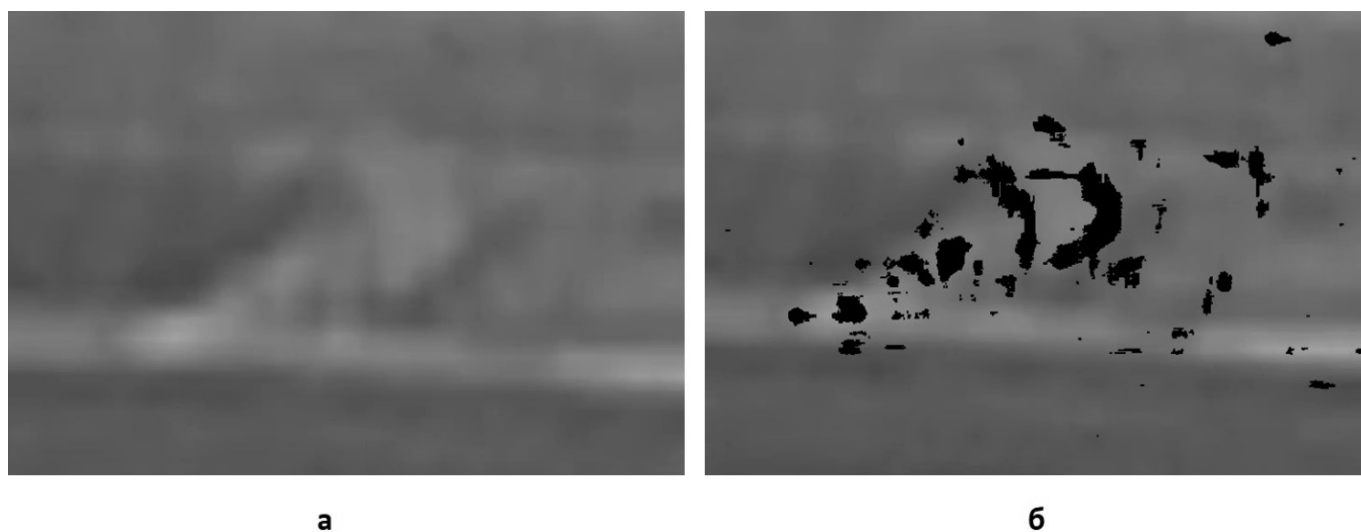


Рис. 2. Кадр видеопотока очага возгорания с разрешением 30x20 пикселей: а — исходный фрагмент изображения, б — фрагмент с выделенными пикселями, попадающими в диапазон  $0.8 < V < 1.5$

во времени и может использоваться для определения принадлежности пикселя некоторым специфичным объектам. Для дальнейшего рассуждения примем, что получение видеопотока происходит из стационарной точки наблюдения, а источник возгорания на начальном этапе так же не перемещается в поле зрения. При этом часть пикселей, принадлежащих изображениям продуктов горения, можно выявить по некоторым

специфичным для них особенностям временных рядов  $b^{xy}$ .

Рассмотрим два временных ряда  $b^{xy}$ , один из которых принадлежит изображению продуктов горения, а другой изображению окружающей обстановки (рис. 1). Из графика видно, что временной ряд пикселя продуктов горения (а) имеет гораздо большую вари-

тивность и более высокую амплитуду по сравнению с временным рядом пиксела окружающей обстановки (б).

Для выделения интересующих нас временных рядов, описывающих изменение яркости пикселей дымоподобных структур, введем коэффициент вариабельности  $V$ , являющийся оценкой нерегулярности временного ряда:

$$V = \frac{\overline{\Delta b^{xy}}}{|\overline{b^{xy}}|}$$

где  $|\overline{b^{xy}}|$  — модуль статистического среднего временного ряда;  $\overline{\Delta b^{xy}}$  — модуль средней разности временного ряда  $B^{xy}$ . Модуль средней разности  $\overline{\Delta b^{xy}}$  временного ряда рассчитывается по следующей формуле:

$$\overline{\Delta b^{xy}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |b_y^{xy} - b_{y-1}^{xy}|,$$

где  $b_y^{xy}$  —  $i$ -й элемент исследуемого временного ряда;  $N$  — длина исследуемого ряда  $B^{xy}$ . Предлагаемый коэффициент вариабельности  $V$  пропорционален относительной скорости изменения значений временного ряда и может быть использован для классификации временных рядов по степени их изменчивости. Экспериментально было выявлено, что все временные ряды в видеопотоке можно разделить на три категории по степени их нерегулярности:

- ♦ временные ряды с низкой вариабельностью, принадлежащие неподвижным или слабо перемещающимся объектам ( $0 < V < 0.8$ );
- ♦ шумовые временные ряды, принадлежащие быстро изменяющимся объектам, таким как колышущаяся на ветру трава, листва деревьев и т.д. ( $V \geq 1.5$ );
- ♦ временные ряды с умеренной степенью нерегулярности, свойственные дымоподобным структурам ( $0.8 < V < 1.5$ ).

Исходя из значения коэффициента вариабельности  $V$ , пиксели, принадлежащие дымоподобным структурам, значительно отличаются от пикселей окружающей обстановки, и могут быть отделены от них.

Следовательно, пиксели, принадлежащие видеопотоку дымоподобной структуры, имеют характерную поведенческую сигнатуру, оценкой которой может служить предлагаемый коэффициент вариабельности  $V$ . Применение данного коэффициента позволяет находить в видеопотоке пиксели с интересующей поведенческой сигнатурой и искать их консолидации, являющиеся очагами возгораний. На рис. 2 приведены подсвеченные пиксели изображения продуктов горения, коэффициенты вариабельности  $V$  которых попали в диапазон  $0.8 < V < 1.5$ .

Предлагаемый метод поиска очагов возгорания имеет ограничения применимости, связанные с особыми внешними условиями. При значениях скорости ветра более 12 м/с неупорядоченность временного ряда, описывающего дымоподобную структуру, значительно возрастает, что приводит к росту вариабельности, и делает его слабо отличимым от шумовых временных рядов ( $V > 1.5$ ). В данных условиях применение поиска очагов возгорания на основании оценки вариабельности временных рядов становится сопряжено с высокой вероятностью возникновения ложных срабатываний.

Предлагаемый способ поиска дымоподобных структур позволяет в реальном времени и с высокой степенью вероятности обнаруживать признаки возгорания на наблюдаемой площади, отбрасывая такие ложные признаки, как туман или движение низко стелящихся облаков.

## Заключение

Предлагаемый алгоритм выявления очагов возгорания позволяет определять дымоподобные структуры в видеопотоке и обладает следующими преимуществами по сравнению с существующими аналогами:

- ♦ низкая вероятность ложных срабатываний, вследствие появления посторонних объектов;
- ♦ низкая ресурсоемкость метода, позволяющая использовать малые вычислительные устройства для анализа видеопотока;
- ♦ возможность определения очагов возгорания по малым пиксельным размерам и на больших расстояниях от точки наблюдения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края [Электронный ресурс]. URL: <https://mpr26.ru>. (Дата обращения: 01.03.2023).
2. Андерсен, Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсен. / М.: Мир, 1976. — С. 756.
3. Букреев, В.Г. Выявление закономерностей во временных рядах в задачах распознавания состояний динамических объектов. / В.Г. Букреев, С.И. Колесникова, А.Е. Янковская. / Томск: изд. Томского политехнического университета. 2010. — С. 254.
4. Безручко, Б.П. Математическое моделирование и хаотические временные ряды / Б.П. Безручко, Д.А. Смирнов. / Саратов: ГосУНЦ «Колледж». 2005 — С. 320.

5. Ляхманов, Д.А. Выделение детерминированной компоненты временных рядов методом спектрального анализа / Э.С. Соколова, Д.А. Ляхманов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. Часть 1. № 5. С. 181–184.
6. Афанасьев, В.Н. Анализ временных рядов / В.Н. Афанасьев, М.М. Юзбашев. / М.: Финансы и статистика. 2001. — С. 228.

© Ляхманов Дмитрий Александрович ( dm.virger@gmail.com ),  
Капранов Сергей Николаевич ( serg.karpanov@gmail.com ), Степаненко Мария Анатольевна ( ma.stepanenko@gmail.com ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Нижний Новгород

# УПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОТРАСЛИ

## MANAGEMENT OF COMPLEX SECURITY OF AGRO-INDUSTRIAL ENTERPRISES IN THE CONDITIONS OF DIGITALIZATION OF THE INDUSTRY

**M. Masaleva  
A. Filkova**

*Summary.* The priority of the modern development of socio-economic processes is the trend of widespread introduction of digital technologies aimed at automating a variety of activities, including in the agricultural sector.

The article considers the factors that form the main areas of security in the production activities of agro-industrial enterprises and the issues of digitalization of security systems in order to reduce the risks of negative consequences. The necessity of integrating innovative technologies into the safety management system is substantiated, as one of the important areas of analysis and improvement of modern approaches to the formation of the safety of the functioning of enterprises of agro-industrial complexes, including in order to create a favorable investment environment.

*Keywords:* digitalization, risk factors, integrated security, agro-industrial complex, risk, organizational system, management, security management, management system.

**Масалева Мария Владимировна**

*К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья» (г. Тюмень)*

**Филкова Анастасия Петровна**

*Старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России» (г. Железногорск)*

*Аннотация.* Приоритетом современного развития социально-экономических процессов является тенденция повсеместного внедрения цифровых технологий, направленных на автоматизацию разнообразной деятельности, в том числе и в отрасли сельского хозяйства<sup>1</sup>.

В статье рассмотрены факторы, формирующие основные сферы обеспечения безопасности в производственной деятельности предприятий агропромышленного комплекса и вопросы цифровизации систем безопасности с целью снижения рисков возникновения негативных последствий.

Обоснована необходимость интеграции инновационных технологий в систему управления безопасностью, как одно из важных направлений анализа и совершенствования современных подходов формирования безопасности функционирования предприятий агропромышленных комплексов, в том числе с целью создания благоприятной инвестиционной среды.

*Ключевые слова:* цифровизация, факторы риска, комплексная безопасность, агропромышленный комплекс, риск, организационная система, управление, управление безопасностью, система управления.

**С**овременной тенденцией управления предприятий всех отраслей хозяйственной деятельности является формирование комплексного подхода к созданию и функционированию систем безопасности.

Поскольку предприятия агропромышленного комплекса являются объектом государственных интересов в части формирования современного тренда развития устойчивой экономической стабильности, рассмотрим факторы, определяющие риски опасностей, способных деструктировать их функционирование.

Предприятия агропромышленного комплекса — это сложная организационная система с концентрацией технологических процессов, с наличием опасных и вредных производственных факторов, рисков возникновения пожаров, загрязнения окружающей среды и чрезвычайных ситуаций [1]. На рисунке 1 представлены различные опасности и сферы их управления в деятельности агропромышленных комплексов.

Рассматривая предложенную на рисунке 1 структуру опасностей, воздействующих на агропромышлен-

<sup>1</sup> Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632 «Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации».



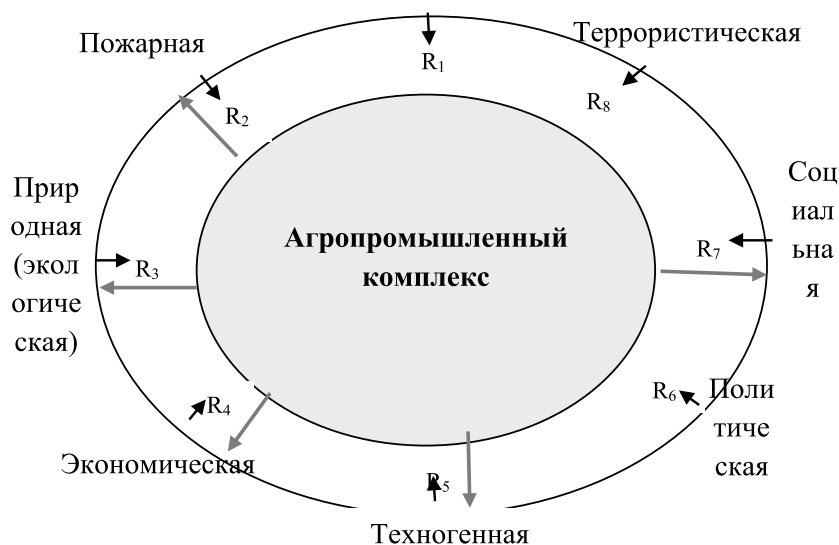


Рис. 1. Модель воздействия опасностей на агропромышленный комплекс

ный комплекс, можно сделать вывод, что и сама деятельность этого объекта хозяйственной деятельности представляет угрозу для безопасности территорий, рядом с которыми они размещены, а также для людей, проживающих там. Таким образом, можно выдвинуть гипотезу о том что, формируя комплексную безопасность деятельности предприятий агропромышленных комплексов создаются условия для формирования безопасной среды территорий и проживающих на ней граждан, в границах отдельных субъектов страны. Основными задачами, стоящими перед цифровизацией комплексной системы безопасности предприятий агропромышленного комплекса, являются:

- ◆ своевременное обнаружение аварий, сбоев в работе технологического оборудования, электрических сетей;
- ◆ сокращение сроков передачи сигнала об аварии, сбоев в работе технологического оборудования, электрических сетей, которые привели к возгоранию;
- ◆ организация взаимодействия сил и средств реагирования для принятия мер по локализации пожара и недопущению его к распространению.

Исходя из решения поставленных задач, к современным приборам и системам обеспечения безопасности предъявляется ряд требований управления технологическими процессами производства: мониторинг (диагностика) состояний для поддержания устойчивого состояния и обнаружения сбоев, прогнозирование и предупреждение опасных состояний и включение

противоаварийной защиты. Обеспечение цифровизации поставленных задач связано с созданием информационной поддержки управления, позволяющей системе получать, обрабатывать и реагировать на состояние технологического процесса [2,3] .

Анализируя современное состояние цифровизации комплексной безопасности следует сделать вывод о ее недостаточном развитии, а порой и просто отсутствии. Как показывает оценка систем безопасности отдельных предприятий агропромышленного комплекса, при их наличии они функционируют отдельно друг от друга, вследствие чего отсутствует системность и не согласованность проведения мероприятий по управлению рисками.

На рынке, производители цифровых технологий предлагают отдельные программные продукты, которые осуществляют мониторинг пожарной, информационной, экологической, антитеррористической безопасности, а также проводят оценку уровня их состояний. Подобная ситуация является не отвечающей принципам эффективности, в том числе и с точки экономической оценки. Это обусловлено необходимостью содержания в штате специалистов в области обеспечения безопасности от угроз, представленных на рис. 1. В качестве решения обеспечения комплексной безопасности, можно рассмотреть систему безопасности RUBEZH, концепция которой представлена на рисунке 2.

Предложенная интегрированная адресная система безопасности представляет собой совокупность

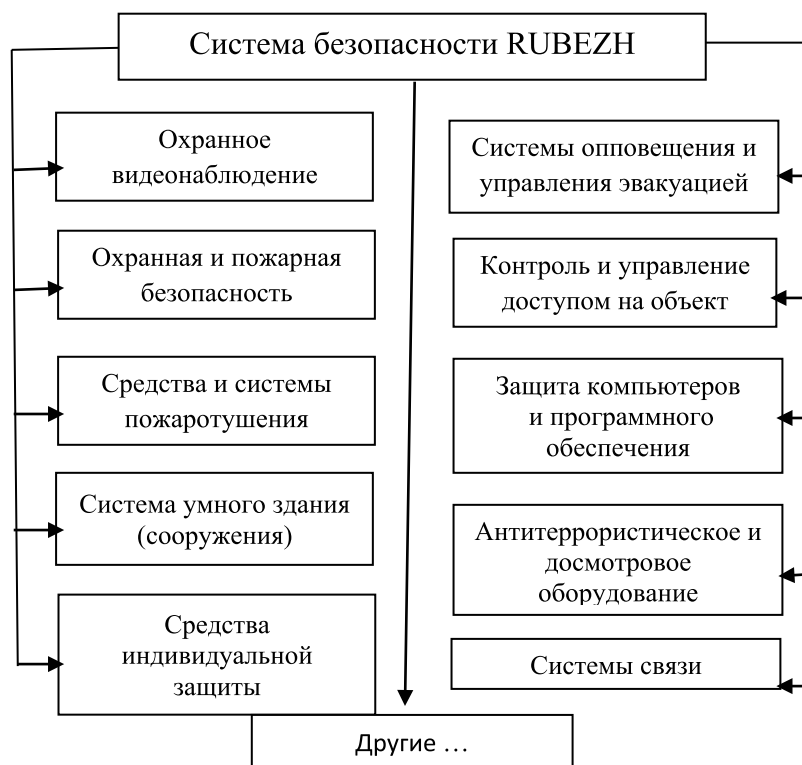


Рис. 2. Структура системы безопасности RUBEZH

средств и методов поддержания безопасного состояния объектов (в том числе критически важных) для предупреждения, обнаружения и ликвидации угроз жизни, здоровью и окружающей среде [3]. Развитие цифровизации систем безопасности предприятий аг-

ропромышленных комплексов, а также дальнейшее их интегрирование в единую автоматизированную информационную среду будет способствовать повышению уровня безопасности территории конкретных населенных пунктов и регионов, а также в страны в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лясников, Н.Р., Романова, Ю.А. Глобальные вызовы и угрозы развития аграрного сектора России // Продовольственная политика и безопасность. 2019. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/globalnye-vyzovy-i-ugrozy-razvitiya-agrarnogo-sektora-rossii>.
2. Масалева, М.В. Синергия информационного обеспечения управления лесным комплексом / М.В. Масалева // Инновационные технологии в лесохозяйственной, деревообрабатывающей промышленности и прикладной механике: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции, Тюмень, 20 октября 2022 года. — Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2022. — С. 149–152.
3. Масалева, М.В. Обоснование исследования современных подходов к формированию концепции инновационного стратегического управления агропромышленными комплексами / М.В. Масалева // Интеграция науки и образования в аграрных вузах для обеспечения продовольственной безопасности России: сборник трудов национальной научно-практической конференции, Тюмень, 01–03 ноября 2022 года. — Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2022. — С. 331–336.
4. Научно-производственная компания RUBEZH: официальный сайт – Саратов, 2023 — URL: <https://products.rubezh.ru/solutions/> (дата обращения 20.02.2023). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. — Текст: электронный.

© Филкова Анастасия Петровна (ma.stepanenko@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ШИФРОВАНИЕ В СРЕДЕ MS EXCEL ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ ПЕРЕДАЧИ И ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

### ENCRYPTION IN MS EXCEL ENVIRONMENT FOR SECURE DATA TRANSMISSION AND STORAGE

**V. Mikhaelis**  
**S. Mikhaelis**

*Summary.* The paper provides an example of implementation of encryption algorithm based on Caesar and Vigenere ciphers as well as XOR operation in MS Excel 2019 spreadsheet environment, which has a number of features suitable for implementation of cryptographic transformation. The paper shows the use of standard MS Excel functions for message encryption and de-encryption.

*Keywords:* Caesar cipher, Vigenere cipher, cipher modification, XOR, MS Excel.

**Михаэлис Владимир Вячеславович**

Кандидат педагогических наук, доцент, ФГБОУ ВО  
«Иркутский государственный университет путей  
сообщения»  
mvv\_1967@mail.ru

**Михаэлис Светлана Ивановна**

Кандидат педагогических наук, доцент, ФГБОУ ВО  
«Иркутский государственный университет путей  
сообщения»  
msibgu@rambler.ru

*Аннотация.* В статье приведен пример реализации алгоритма шифрования на основе шифров Цезаря и Виженера, а также операции XOR в среде табличного процессора MS Excel 2019, который имеет ряд особенностей, подходящих для реализации криптографических преобразований. Показано использование стандартных функций MS Excel для шифрования и расшифрования сообщений.

*Ключевые слова:* шифр Цезаря, шифр Виженера, модификация шифра, XOR, MS Excel.

**В** настоящее время такие исторические шифры, как шифры Цезаря и Виженера, не используются в чистом виде, но их рациональные идеи применяются в ряде современных криптографических алгоритмов. Циклический сдвиг в алфавитном порядке в кодах Цезаря и Виженера представляет собой модульное суммирование, которое используется в современных симметричных кодах. Было выполнено много работ по усилению классических шифров, значительно укрепивших их. Однако по-прежнему существует потребность в улучшении их криптостойкости, поскольку преимущества криптографии заключаются в том, что она предлагает в том числе личную конфиденциальность (в англоязычных источниках обозначается термином individual privacy).

Принимая во внимание простоту этих шифров, как российские, так и зарубежные исследователи приходят к различным вариантам их модификации [1–4], и совместное использование этих алгоритмов позволяет повысить уровень защиты. Также существуют различные средства реализации криптографических алгоритмов (C++, Java, Python и др.), однако MS Excel — наиболее доступный инструмент для решения таких задач, позволяющий наглядно продемонстрировать весь

процесс шифрования или криптоанализа информации [8, 10, 11, 12].

Основной целью статьи является разработка гибрида шифров Цезаря и Виженера, который может предотвратить несанкционированный доступ к конфиденциальной информации или ее модификацию, и реализация алгоритма шифрования с использованием Excel.

Опишем процесс шифрования, используемый для достижения целей и задач исследования.

Важное значение имеет длина ключа, т.к. она является основной характеристикой криптостойкости. Для симметричного шифрования надежным считается ключ длиной от 128 бит. В нашем примере используется ключ меньшей длины для удобства восприятия представленного материала. В Excel не составляет труда увеличить длину ключа различными способами.

Вначале выполняется подготовительный этап, заключающийся в удалении из исходного текста пробелов, знаков препинания с использованием функции ПОДСТАВИТЬ (рис. 1).

Шаг алгоритма	Пояснение	Результат	
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ	открытый текст	кодсимвола	
1	ключ_1	7	
2	ключ_2	семь	
3	текст_1	схкшпуихтж	
4	ключ_2_1	шлуг	
5	текст_2	йбюбзязьшт	

Рис. 1. Шаги 1–5 алгоритма

Шаг алгоритма	Пояснение	Результат					
6	побуквенное разбиение текста_2	й	б	ю	ы	з	я
7	двоичная форма букв текста_2	11101001	11100001	11111110	11111011	11100111	11111111
	двоичная форма ключа_1	110111					
8	посимвольное разбиение ключа_1	0					
		0					
		1					
		1					
		0					
		1					
		1					
		1					
9	посимвольное разбиение текста_2	1	1	1	1	1	1
		1	1	1	1	1	1
		1	1	1	1	1	1
		0	0	1	1	0	1
		1	0	1	1	0	1
		0	0	1	0	1	1
		0	0	1	1	1	1
		1	1	0	1	1	1

Рис. 2. Шаги 6–9 алгоритма

Шаг алгоритма	Пояснение	Результат					
		1	0	1	0	1	0
10, 11	XOR	1	0	1	0	1	0
		1	0	1	0	1	0
		0	1	0	1	0	1
		1	1	1	0	1	1
		1	0	0	1	0	0
		1	1	1	0	0	1
		1	1	1	0	1	0
		0	1	0	0	1	0
12	объединение	11011110	00110111	11010110	00101000	11010011	00110100
13	десятичная форма	222	55	214	40	211	52
14	символьное представление	Ю	7	Ц	(	У	4
15	объединение	Ю7Ц(У4Л7П%					

Рис. 3. Шаги 10–15 алгоритма

Для реализации алгоритма шифрования в таблицах Excel необходимы следующие шаги:

1. Берется произвольный числовой *ключ\_1* длиной в зависимости от мощности алфавита, для чего используется функция СЛУЧМЕЖДУ.
2. Числовой *ключ\_1* переводится в буквенный эквивалент. Таким образом получаем *ключ\_2* по методике, описанной в работе [14].
3. *Ключом\_1* шифруется методом Цезаря открытый текст, в результате чего получается *текст\_1* по методике, описанной в работах [8, 10].
4. *Ключом\_1* шифруется методом Цезаря *ключ\_2\_1*.
5. *Ключом\_2\_1* шифруется *текст\_1* методом Виженера, в результате чего получается *текст\_2* (рис.1).
6. *Текст\_2* разбивается побуквенно с размещением каждой буквы в отдельные ячейки (функции СТОЛБЕЦ, ПСТР).
7. Производится перевод *текста\_2* и *ключа\_1* в код ASCII (функция КОДСИМВ), затем перевод полученного результата в двоичную форму (функция ДЕС.В.ДВ).
8. Применяется посимвольное разбиение *ключа\_1* (функции СТОЛБЕЦ, ПСТР).
9. Применяется посимвольное разбиение *текста\_2* (функции СТОЛБЕЦ, ПСТР) (часть таблицы представлена на рис.2).
10. Применяется операция XOR к *ключу\_1* и первой букве *текста\_2* (функции ИСКЛИЛИ, ЕСЛИ).

11. Применяется операция XOR к результату п. 10 и второй букве *текста\_2*, затем результат к третьей и т.д. Таким образом получили блок цифр.
12. Ячейки с полученными на предыдущем шаге цифрами объединяются (функция СЦЕПИТЬ), в результате чего получается двоичное представление каждой буквы шифротекста.
13. Полученные двоичные числа преобразуются в десятичные числа (функция ДВ.В.ДЕС).
14. Десятичные числа переводятся в буквы (функция СИМВОЛ).
15. Буквы, разнесенные по ячейкам, сцепляются для получения шифротекста (функция СЦЕПИТЬ) (часть таблицы представлена на рис. 3).

Таким образом, выполнив описанные выше шаги, был получен шифротекст. Процесс дешифрования происходит в обратном порядке с использованием тех же функций.

В заключение отметим, что в определенные исторические периоды представленные классические алгоритмы использовались достаточно успешно. Появление новых научных инструментов (в том числе развитие вычислительной техники) позволило создать методы их расшифровки в разумные сроки.

Анализ недостатков некриптостойких шифров помогает создавать новые, более мощные средства криптографической защиты. На смену некриптостойким алгоритмам приходят новые.

Как показано, MS Excel предоставляет возможности реализации методов шифрования как известных алгоритмов, так и их модификаций. Представленная работа может быть использована для обучения и проведения экспериментов в криптографии. Дальнейшим развитием данной работы будет являться изучение воз-

можностей криптоанализа средствами MS Excel. Представленная работа может быть использована для обучения и проведения экспериментов в криптографии. Дальнейшим развитием данной работы будет являться изучение возможностей криптоанализа средствами MS Excel.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Omolara O.E., Oludare A.I., Abdulahi S.E. Developing a Modified Hybrid Caesar Cipher and Vigenere Cipher for Secure Data Communication // Computer Engineering and Intelligent Systems. — 2014. — Vol. 5. — No. 5.
2. Purnama B. A New Modified Caesar Cipher Cryptography Method with Legible Ciphertext From a Message to Be Encrypted / B. Purnama, H. Rohayani // Procedia Computer Science. — 2015. — № 59. — P. 195–204.
3. Siregar S.J. Application and Manual Encryption Process with The Combination Algorithm of One Time Pad and Vigenere Cipher / S.J. Siregar, M. Zarlis, Z. Situmorang // Journal of Physics: Conference Series. — 2020. — Vol. 1641. International Conference on Advanced Information Scientific Development (ICAISD) 2020 6–7 August 2020, West Java, Indonesia.
4. Tan C.M.S. A Hybrid Encryption and Decryption Algorithm using Caesar and Vigenere Cipher / C. M.S. Tan, G.P. Arada, A.C. Abad, E.R. Magsino // Journal of Physics: Conference Series. — 2021. — Vol. 1997. Asian Conference on Intelligent Computing and Data Sciences (ACIDS) 2021 24–25 May 2021, Perlis, Malaysia.
5. ГОСТ Р 50922–2006. Защита информации. Основные термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2008.
6. Зеленорицкая А.В. Модификации поточного шифра RC4 / А.В. Зеленорицкая, М.А. Иванов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2019. — № 3–2. — С. 56–61.
7. Михайлец А.Н. Углубленное изучение алгоритмов шифрования с использованием базового программного обеспечения / А.Н. Михайлец, Д.Н. Михайлец, А.А. Калинин // I-methods. — 2021. — Т. 13. — № 2.
8. Михайлов Д. Криптография и криптоанализ с MS Excel / Д. Михайлов // Математика и информатика. — 2022. — Vol. 65. — No 1. — P. 53–71.
9. Михаэлис В.В. Защита беспроводных сетей / В.В. Михаэлис, С.И. Михаэлис // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. — 2015. — № 14. — С. 4–10.
10. Паршукова Н.Б. Криптографические алгоритмы в среде электронных таблиц / Н.Б. Паршукова // Информатика в школе. — 2019. — № 8 (151). — С. 51–55.
11. Сдвижков О.А. Основы математической логики и криптографии. Практикум в Excel: уч. пос. для направлений бакалавриата «Математика и компьютерные науки» / О.А. Сдвижков. — М.: КноРус, 2022. — 358 с.
12. Сдвижков О.А. Применение Excel в криптографии / О.А. Сдвижков, Н.П. Мацнев // Международный научно-исследовательский журнал. — 2020. — № 7–1 (97). — С. 87–95.
13. Справка по функциям Excel [Электронный ресурс]. — URL: <https://msoffice-prowork.com/ref/excel/excelfunc/> (дата обращения: 1.02.2023).
14. Числа прописью — Эффективнее! Bill K.xlsx [Электронный ресурс]. — URL: [https://drive.google.com/file/d/1h8DYksxslB8zQ0dgi2gL-LG\\_zr2iKzDy/view](https://drive.google.com/file/d/1h8DYksxslB8zQ0dgi2gL-LG_zr2iKzDy/view) (дата обращения: 1.02.2023).
15. Шурховецкий Г.Н. Криптостойкость алгоритмов шифрования / Г.Н. Шурховецкий // Молодая наука Сибири. — 2018. — № 2 (2). — С. 84–91.

# ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ЗАКЛЮЧЕНИИ ДОГОВОРОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ С ПОТРЕБИТЕЛЯМИ

ORGANIZATION OF THE DECISION-MAKING PROCESS WHEN CONCLUDING  
CONTRACTS BY A HEAT AND POWER ORGANIZATION WITH CONSUMERS

**K. Penzev**

*Summary.* The article deals with the problem of management of the heat and power organization and decision-making on the conclusion of contracts and contracts in modern Russian conditions. Based on the available analytical materials, an infological model of the process of concluding a contract of a heat supply organization with consumers and government agencies is constructed. In addition, a DFD scheme (data flow diagrams) was developed, with the help of which problem areas in the integration of the heat supply organization and the EAIST system were shown, leading to errors in decision-making.

*Keywords:* heat and power organization; conclusion of contracts with consumers; technical integration of systems; decision-making process; infological data model; process-functional model.

**Пензев Константин Ильич**

Аспирант, ФГАОУ ВО «Белгородский  
государственный национальный исследовательский  
университет»  
konstantin.penzev@yandex.ru

*Аннотация.* В статье рассмотрена проблема управления теплоэнергетической организации и принятия решений по вопросам заключения договоров и контрактов в современных российских условиях. На основе имеющихся аналитических материалов построена инфологическая модель процесса заключения контракта теплоснабжающей организации с потребителями и государственными структурами. Кроме того, была разработана схема DFD (диаграммы потоков данных), с помощью которой были показаны проблемные места в интеграции теплоснабжающей организации и системы ЕАИСТ, ведущие к ошибкам в принятии решений.

*Ключевые слова:* теплоэнергетическая организация; заключение договоров с потребителями; техническая интеграция систем; процесс принятия решений; инфологическая модель данных; процессно-функциональная модель.

## Актуальность темы

Одной из главных целей реализации мер по энергосбережению является установление баланса между спросом на тепловую энергию и количеством ее отпуска в тепловую сеть, что приводит к сокращению отпуска тепловой энергии теплогенерирующим предприятием [7]. Также необходимо внедрение мер по энергосбережению на стороне потребителя в рамках осуществляемой политике заключения новых и пролонгации договоров. Реализация новой политики заключения договоров требует внедрения процедур эффективного управления и принятия решений в сфере энергетики, обеспечивающего создание организационных, информационных, финансовых условий, при которых городские предприятия сферы теплоснабжения, а также потребители, смогут формировать достаточное множество альтернативных вариантов управления системы теплоснабжения и выбирать лучший из них [6]. На государственном уровне основные направления модернизации теплоснабжения направлены на обеспечение безубыточности предприятий жилищно-коммунального хозяйства, организацию эффективного

управления в сфере предоставления коммунальных услуг, повышение уровня качества услуг, уменьшение уровня потребления энергетических ресурсов [7].

Низкий уровень автоматизации задач управления и принятия решений в сфере энергетики усложняет оперативность принятия данных управленческих решений. Применение информационных технологий при реализации задач управления и принятия решений в сфере энергетики является одним из средств реализации инноваций в данной сфере [5]. Таким образом, существует необходимость разработки единой информационной системы, обеспечивающей поддержку принятия решений в управлении теплоэнергетической организации, включая интеграцию с системой заключения договоров.

## Цель статьи

Целью статьи является составление инфологической модели для анализа деятельности отдела заключения договоров с потребителями теплоэнергетической организации как объекта информатизации.

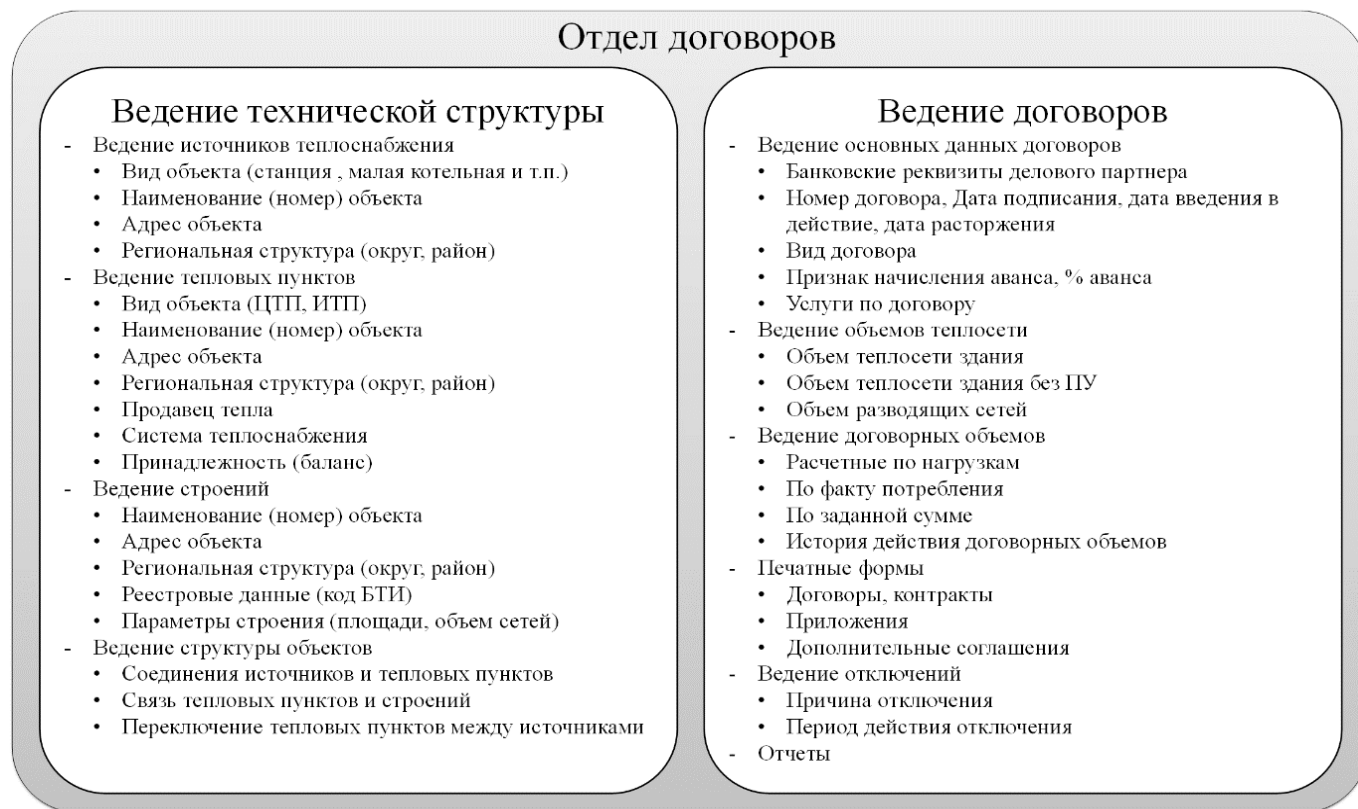


Рис. 1. Основные функции отдела договоров рассматриваемой теплоснабжающей организации

### Изложение основного материала

Управление централизованным теплообеспечением должно производиться с учетом тесной взаимосвязи ряда факторов воздействия на отслеживание эффективности. Следовательно, при исследовании теплоэнергетической организации и отдела заключения договоров с потребителями как объекта информатизации с целью нахождения методов управления ее функционированием и процессами принятия решений целесообразно применение методологии системного анализа.

В настоящее время деятельность [5, с.213] теплоснабжающих организаций в области сбыта зависит от постоянного совершенствования управления обслуживанием клиентов. И, зачастую, эффективность осуществления управленческих функций достигается за счет налаженной системы документооборота.

Необходимость в автоматизации управления документооборотом теплоэнергетической организации сегодня видят по-разному: одни — в повышении эффективности организационно-распорядительного документооборота, другие — в повышении эффективности работы функциональных специалистов, создающих

документы и использующих их в повседневной работе, и лишь немногие уделяют внимание обоим аспектам. Такое разделение точек зрения в вопросах документооборота определяется разной ролью и значимостью самих документов в деятельности организации, что зависит от размера организации, стиля управления, отрасли производства, общего уровня технологической зрелости и многих других факторов. Поэтому для одних документ может быть, например, базовым инструментом управления, а для других — средством и продуктом производства [4, с.99] [3, с.75].

Теплоснабжающая компания осуществляет поставку бюджетным организациям двух видов товаров: тепловой энергии и горячего водоснабжения. Для того, чтобы осуществить поставку данных услуг необходимо заключить контракт на поставку с бюджетной организацией в электронном или бумажном виде, а также зарегистрировать его в Единой информационной системе закупок (ЕИС), тем самым подтвердить соответствие контракта текущим законодательным нормам.

Заключение контрактов на поставку тепловой энергии и горячего водоснабжения с потребителями осуществляется отделениями сбыта теплоснабжающей организации. Контракт на поставку тепловой энергии



ЕАИСТ обеспечивает автоматизацию всех необходимых технологических операций размещения государственного заказа, включая этапы: планирования, подготовки торгов, проведения торгов, заключения и исполнения государственных контрактов, формирования аналитической и статистической отчетности, предоставляющей возможности контроля и мониторинга процессов планирования, размещения и исполнения процедур государственного заказа

Важной особенностью ЕАИСТ является реализация требований законодательства РФ и г. Москвы на всех этапах размещения государственного заказа

В настоящее время в состав ЕАИСТ входят 21 функциональная подсистема и 7 обеспечивающих подсистем, каждая из которых представляет собой интегрированный комплекс задач, имеющих определенное целевое назначение. ЕАИСТ обеспечивает автоматизацию следующих процессов:

- формирования план-графиков размещения государственного заказа;
- полный документооборот, включая согласования с уполномоченными и контролирующими органами;
- формирование конкурсной/аукционной документации с использованием встроенной электронной библиотеки типовых контрактов;
- подготовку для публикации на официальном сайте [www.zakupki.gov.ru](http://www.zakupki.gov.ru) (общероссийский официальный сайт, ООС) всех видов извещений о процедурах размещения государственных заказов;
- подготовку данных для регистрации государственных контрактов в Федеральном реестре в соответствии с действующим законодательством;
- формирование и ведение реестра участников размещения государственного заказа и реализации инвестиционных проектов;
- регистрацию сведений о юридических и физических лицах, принимающих участие в процедурах размещения государственного заказа и реализации инвестиционных проектов;
- формирование и ведение реестра пользователей ЕАИСТ, включая регистрационные данные, перечень доступных функциональных возможностей, сведения об обучении и пр.;
- формирование и ведение реестра комиссий и специалистов, принимающих участие в процедурах размещения государственного заказа и реализации инвестиционных проектов; формирование аналитической и статистической отчетности, содержащей сведения об этапах планирования, размещения и исполнения государственного заказа

Рис. 2. Особенности работы Единой автоматизированной информационной системы торгов города Москвы (ЕАИСТ) [2]

и горячего водоснабжения заключается с потребителем при наличии у него отвечающего установленным техническим требованиям энергопринимающего устройства, присоединенного к сетям [1] теплоснабжающей компании (ст. 539 ГК РФ).

Основные функции отдела договоров теплоснабжающей организации представлены на рисунке 1.

Для заключения контракта на поставку тепловой энергии и горячего водоснабжения необходимо направить в теплоснабжающую организацию заявку с комплектом документов, необходимых для оформления контракта [1, с.13]. В заявке указываются адреса объектов, которые будут обеспечиваться тепловой энергией, величины тепловых нагрузок по видам услуг, сведения о приборах учета, а также телефоны ответственных исполнителей, с которыми можно решить вопросы,

возникающие в ходе согласования исходных данных и оформления [7] контракта.

При получении полного пакета документов Отдел договоров начинает создание цепочки объектов в модуле SAP, тем самым начиная процесс заключения контрактов с потребителями (Рис. 2). Функционал, реализованный средствами SAP и выполняющий все вышеперечисленные функции, используется специалистами отдела договоров теплоснабжающей организации для ведения договорной работы с потребителями тепловой энергии через Единую автоматизированную информационную систему торгов города Москвы (ЕАИСТ).

Осуществление процесса мониторинга требует наличия технических и программных средств сбора, хранения и обработки данных. Процесс мониторинга электронного документооборота системы заключения

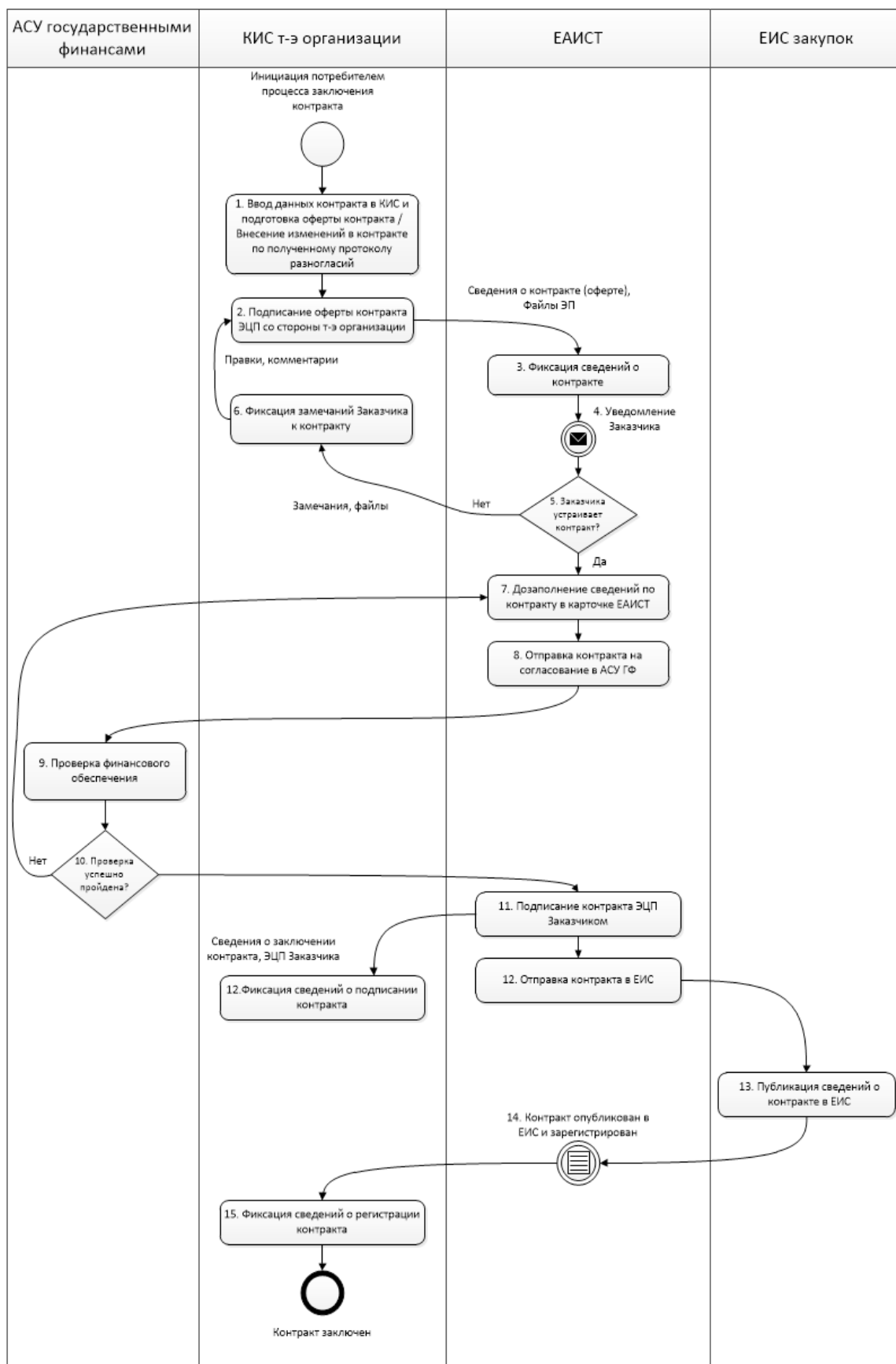


Рис. 3. Схема бизнес-процесса заключения контракта теплоснабжающей организации с потребителем

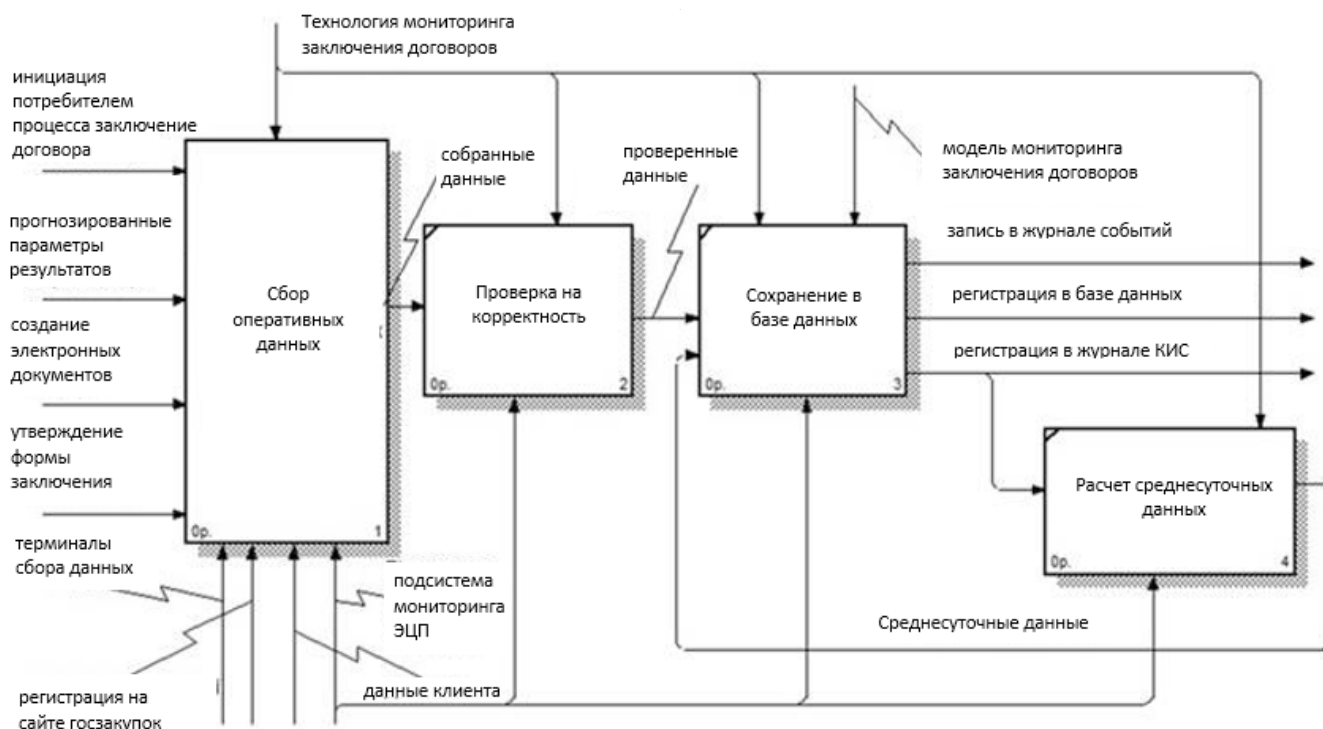


Рис. 4. Диаграмма декомпозиции процесса «Заключение договоров теплоэнергетической организации»

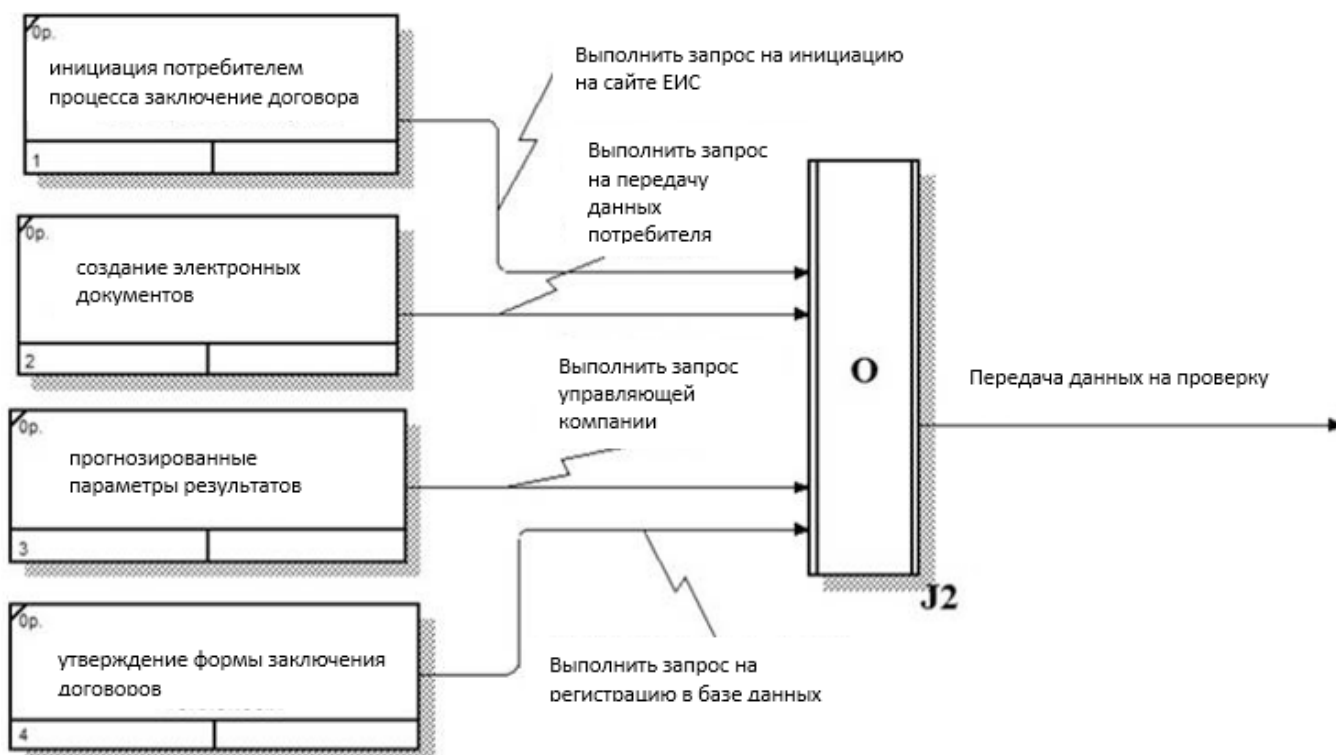


Рис. 5. Диаграмма декомпозиции процесса «Сбор оперативных данных»



Рис. 6. Блок-схема алгоритма анализа web-страницы договора при внесении его в ЕИС

договоров теплоэнергетической компании предполагает выполнение функций снятия и передачи информации о состоянии объекта наблюдения. При помощи программного обеспечения, основанного на текущих механизмах электронного документооборота, осуществляется создание электронных документов, их внутреннее согласование, подписание электронно-цифровой подписью (ЭЦП) и регистрация на сайте госзакупок. После проверки данные передаются базе данных для их хранения. На основе собранных в оперативном режиме данных вычисляются среднесуточные значения параметров мониторинга.

Общую схему бизнес-процесса заключения контракта теплоснабжающей организации с потребителем можно увидеть на рисунке 3.

Суть алгоритма заключения документа (контракта на поставку тепловой энергии) заключается в следующем. Специалист отдела договоров создает и регистрирует электронный документ в КИС филиала теплоснабжающей организации, прикрепляет файл контракта в формате.docx, который сохраняется в электронном архиве [7].

Компонентами функционального наполнения процесса мониторинга являются Сбор оперативных данных, Проверка на корректность, Сохранение в базе данных и Расчет параметров заключения контракта. Диаграмма декомпозиции процесса «Заключение договоров теплоэнергетической организации» изображена на рис. 4. Компонент функционального наполнения «Сбор оперативных данных» производит сбор данных



мониторинга по общим показателям каждого заключенного договора, соответствие утвержденной форме и посторонних информационных ресурсов как терминалов сбора данных, передачу собранных данных на web-сервер информационной системы и их проверку [6].

На рис. 5 показана декомпозиция этого функционального блока на составляющие: «инициация потребителем процесса заключение договора», «прогнозируемые параметры результатов», «создание электронных документов», «утверждение формы заключения договоров». Далее электронный документ отправляется на внутреннее согласование к руководителю отдела договоров. В случае решения руководителя о том, что документ готов для отправки потребителю отправляется уведомление об этом специалисту. В случае иного решения документ отправляется на доработку специалисту.

Компонент функционального наполнения «Инициация потребителем процесса заключение договора» отвечает за сбор данных для сайта ЭЦП. Для реализации этой задачи использован метод извлечения данных из таблиц HTML-документа web-сайта, описанный ниже.

После согласования руководителем отдела заключения договоров по электронному документу специалист отдела договоров подписывает документ с помощью ЭЦП и отправляет потребителю на подпись. В случае, если условия контракта устраивают потребителя, то он подписывает документ.

При извлечении данных производится выделение необходимых данных и перевод их в сгруппированную структуру реляционной базы данных. Исходный текст HTML-документа преобразуется в структуру данных – DOM-дерево, представляющее синтаксическую структуру входной последовательной информации, которую нужно обработать и передать в базу данных для хранения. Блок-схема алгоритма извлечения данных прогноза погоды изображена на рис. 6. Алгоритм состоит в нахождении всех элементов системы заключения договоров, которые используются для внесения данных в ячейки таблицы. Затем значения всех найденных в HTML-документе элементов ЕИС сначала заносятся в массив, а затем в соответствующие ячейки таблиц базы данных.

Компоненты функционального наполнения отвечают за сбор в автоматизированном режиме данных по договору и контракту на соответствие установленным правилам. Компонент функционального наполнения «Проверка на корректность» процесса «Мониторинг» отвечает за проверку собранных данных перед

тем, как они будут занесены в базу данных. Данные мониторинга, собранные с интервалом в один день, хранятся в базе данных. Также средством построения бизнес-процессов и выявления основных информационных потоков является диаграмма в нотации DFD на Рис. 7 (Диаграмма потоков данных) [5].

Выше представлена схема DFD заключения документа между теплоснабжающей компанией и бюджетными организациями. В данной схеме основным проблемным местом, где оканчивается ошибкой проведение большинства операций, связанных с ним, является хранилище № 3 (Адаптер интеграции). Как было описано ранее, ошибки происходят при запросе данных из адаптера как со стороны КИС теплоснабжающей организации, так и со стороны системы ЕАИСТ. Также как Поставщик (теплоснабжающая организация), так и Потребитель могут выслать друг другу отказ от заключения контракта по разным причинам (несогласие с условиями контракта, технические сбои и т.д.) .

## ВЫВОДЫ

Проведение мониторинга договоров теплообеспечения позволяет осуществлять оперативный контроль за объектом — непосредственно отделом заключения договоров теплоэнергетической организации. В ином случае потребитель может прислать специальный документ — протокол разногласий, в котором он указывает на не устраивающие его условия контракта.

Анализ деятельности теплоэнергетической организации и отдела заключения договоров с потребителями как объекта информатизации показал, что она имеет следующие особенности:

- ◆ сложный иерархический характер его структуры;
- ◆ значительная разветвленность: система заключения договоров с потребителями состоит из параллельно и последовательно подключенных элементов различных конструкций с широким диапазоном режимов их работы;
- ◆ система заключения договоров с потребителями является динамической системой, работающей в нестационарном режиме, изменение внутренних и внешних факторов воздействия на отдел заключения договоров носит стохастический характер.

Управление системой заключения договоров с потребителями характеризуется сложностью достижения конечной цели работы теплоэнергетической компании, так как для обработки информации ЕИС и для выработки управляющего воздействия в ЕАИСТ требуется время, за которое могут измениться факторы воздействия,

и принимаемые решения уже могут оказаться не актуальными.

Принятие решений по управлению системой заключения договоров с потребителями осуществляется в условиях неопределенности.

Таким образом, был описан основной процесс взаимодействия теплоснабжающей организации с Заказчиком в рамках заключения контракта на поставку тепло-

вой энергии и горячего водоснабжения посредством использования механизмов электронного документооборота. На основе данных мониторинга реализуется задача прогнозирования деятельности теплоэнергетической организации и отдела заключения договоров с потребителями как объекта информатизации. На основе инфологической модели данных становится возможным разработать модель существующего процесса заключения договоров теплоснабжающей организации с клиентами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецова, Т.В. Делопроизводство как отражение системы и технологии управления [Текст] / Т.В. Кузнецова // Делопроизводство. — 2010. — № 3. — С. 12–14.
2. Литвенко, И.Ю. Единая автоматизированная информационная система торгов города Москвы [Текст] / И.Ю. Литвенко // Вестник научных конференций. — 2016. — № 9–1 (13). — С. 96–97.
3. Майкл, Дж. Корпоративный документооборот: принципы, технологии, методология внедрения [Текст] / Дж. Майкл, Д. Саттон. — М.: Азбука, БМикро, 2013. — 448 с.
4. Новикова, Т.В. Преимущества и недостатки системы электронного документооборота [Текст] / Т.В. Новикова, Т.В. Колтеева // Молодой ученый. — 2009. — № 7. — с.98–102.
5. Пензев, К.И. Автоматная модель процесса заключения контракта в теплоснабжающей организации [Текст] / К.И. Пензев, С.В. Михайлова // Вестник современных исследований. — 2018. — № 12–15. — С. 213–216.
6. Пензев, К.И. Основные проблемы применения электронного документооборота при заключении контрактов в системе управления документами теплоснабжающей организации [Текст] / К.И. Пензев // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности. — Волгоград, 2021. — С. 31–35.
7. Пензев, К.И. Основные проблемы принятия решений в системе управления договорами теплоэнергетической организации [Текст] / К.И. Пензев // Современные проблемы цивилизации и устойчивого развития в информационном обществе. — Москва, 2022. — С. 268–271.
8. Ломакин, В.В. Поддержка принятия решений при анализе и управлении социальными рисками [Текст] / В.В. Ломакин // Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2020). — Белгород, 2020. — с. 270–274.
9. Ломакин, В.В. Принятие решений на основании непосредственного формирования векторов альтернатив и критериев [Текст] / В.В. Ломакин, М.А. Маматова // Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции. — Белгород, 2015. — с. 367–369

© Пензев Константин Ильич ( konstantin.penzev@yandex.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ДВОИЧНОЙ БИНОМИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА

## DEVELOPMENT OF INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS BASED ON THE BINARY BINOMIAL CALCULATION SYSTEM

**V. Selin  
I. Chernetskaya**

*Summary.* The article considers the peculiarities of the development of information and control systems based on the binary binomial calculation system. Separate attention is paid to the problem of data transmission and storage in information and control systems. A method for selecting the optimal parameters of matrix binomial components to ensure a given noise immunity with minimal hardware costs is also proposed.

*Keywords:* binomial numbers, system, failure, robustness.

**Селин Владислав Игоревич**

Аспирант, Юго-Западный государственный  
университет

[selinvlad1@yandex.ru](mailto:selinvlad1@yandex.ru)

**Чернецкая Ирина Евгеньевна**

Доктор технических наук, доцент  
Юго-Западный государственный университет

*Аннотация.* В статье рассмотрены особенности разработки информационно-управляющих систем на основе двоичной биномиальной системы расчета. Отдельное внимание уделено решению задачи передачи и хранения данных в информационно-управляющих системах. Также предложен метод выбора оптимальных параметров матричных биномиальных компонентов для обеспечения заданной помехоустойчивости при минимальных аппаратных затратах.

*Ключевые слова:* биномиальные числа, система, отказ, устойчивость.

**К**омпьютерные системы и сети нашли свое широкое применение в различных сферах современной жизни. С их помощью решаются задачи управления, слежения, сбора, передачи, преобразования и хранения информации, а также многие другие [1]. Тенденции развития компьютерных систем заключаются в непрерывном увеличении их быстродействия, надежности, устойчивости, однако, задача оптимизации этих параметров до сих пор остается актуальной.

Для ее решения на сегодняшний день в области создания информационно-управляющих систем отмечается достаточно много разработок, которые используют информационную и аппаратную избыточность с целью повышения помехоустойчивости, а также методы резервирования, позволяющие обеспечить рост отказоустойчивости и надежности систем в целом. Все эти цели на практике достаточно эффективно достигаются с использованием позиционных систем исчисления, простейшими из которых являются однородные. Но применение однородных систем, не всегда может удовлетворить повышенные требования к производительности современных компьютерных сетей без снижения отказа их функционирования в режиме реального времени при минимальных дополнительных аппаратно-программных затратах [2].

На практике еще далеко не достигнут уровень, отвечающий все более растущему спросу на помехоустойчивые информационно-управляющие системы, защищенные от несанкционированного доступа. В данном контексте важным направлением дальнейшего развития компьютерных средств является использование для представления и обработки данных структурных систем исчисления. При этом структурные числовые системы могут либо полностью задавать все процессы функционирования компьютерных сетей и компонентов, либо быть задействованы локально в структуре аппаратного или программного обеспечения для решения отдельных информационных задач, например, таких как комбинаторная оптимизация, шифрование или сжатие информационных последовательностей.

Особо широкое распространение среди структурных числовых систем получили биномиальные, которые используют в своей основе биномиальные числа, получаемые с помощью биномиальных систем исчисления разных классов, двоичных, многозначных, линейных, линейно-циклических, матричных. Преимуществом таких чисел является то, что компоненты информационно-управляющих систем на их основе обладают повышенным быстродействием, которое является результатом подачи информации в виде матричной





Рис. 1. Концепция разработки информационно-управляющей системы, использующая биномиальную двоичную систему чисел

структуры и распараллеливания операций ее обработки [3].

С учетом вышеизложенного, особую актуальность на сегодняшний день приобретает концепция разработки специализированных информационно-управляющих систем на основе структурных биномиальных систем исчисления, что и обуславливает выбор темы данной статьи.

Особенности разработки компьютерных систем с использованием биномиальных схем Бернулли описаны в работах Билятдинова К.З., Печникова Д.А., Павельева А.В., Alba, Hernán; Morales, Marcel; Nguyen, P; Martini, Simone.

Перспективы применения чисел Фибоначчи для построения самоконтролирующих и самокорректирующих вычислительных и измерительных систем изучаются Насыровым И.К., Андреевым В.В., Масловым О.Н., Антамошкиным О.А., Choi, Junesang; Purohit, S.D., Wang, Xiaoyuan.

Разработке моделей и соответствующих методов синтеза матричных биномиальных компонентов

цифровых устройств с повышенным быстродействием и помехоустойчивостью посвятили свои труды Майструк А.В., Билятдинов К.З., Пономарева С.А., Stojmenovic, I., Stipulanti, Manon; Poblete, P.

Однако, несмотря на имеющиеся труды и наработки, ряд вопросов в данной предметной плоскости остается открытым. В частности, отдельного внимания заслуживает развитие методов обработки данных и усовершенствование концепции построения систем анализа информации на основе использования систем остаточных классов. Также в решении нуждаются трудности, которые связаны с отсутствием эффективных алгоритмов сравнения чисел и значительной трудоемкостью немодульных операций.

Таким образом, принимая во внимание отмеченные обстоятельства, цель статьи заключается в рассмотрении особенностей разработки информационно-управляющих систем на основе двоичной биномиальной системы расчета.

Разработка современных информационно-управляющих систем, для увеличения производительности обработки информации без снижения отказоустойчиво-

$$\begin{aligned}
 V = & \sum_{q_i=0}^k \left( \sum_{q_j=q_i+1}^k \sum_{c=1}^{C_{n-k-1+q_i}^{q_i}} p(q_i, c) \sum_{t=0}^{G_1} C_{q_i}^t C_{n-k-1+q_j-q_i}^{q_j-q_i+t} p_{00}^{n-q_j-t-1} p_{01}^{q_j-q_i+1} p_{10}^t p_{11}^{q_i-t} + \right. \\
 & + \sum_{c=1}^{C_{n-k-1+q_i}^{q_i}} p(q_i, c) \sum_{t=1}^{G_2} C_{q_i}^t C_{n-k-1}^t p_{00}^{n-q_j-t-1} p_{01}^t p_{10}^t p_{11}^{q_i-t} + \\
 & + \sum_{q_j=0}^{q_i-1} \sum_{t=q_i-q_j}^{q_{min}} \sum_{z=1}^{C_{q_i-q_j}^{q_i}} \sum_{c=1}^{C_{(n-k-1+q_i)-(q_i-q_j)}^{q_i-t}} p(q_i, s, z) \sum_{f=q_i-q_j-t}^{q_{max}} C_{q_i-t}^{q_j-t-f} C_{n-k-1-(q_i-q_j-t)}^{q_j-(q_j-t-f)} \times \\
 & \times p_{00}^{n-q_j-t-f-1} p_{01}^{q_j-(q_i-t-f)} p_{10}^{t+f} p_{11}^{q_i-t-f}
 \end{aligned}$$

где

$$G_1 = \begin{cases} q_i & \text{при } k \leq n/2 \\ n - k - 1, & \text{при } k > n/2' \end{cases}$$

$$G_2 = \begin{cases} q_i & \text{при } k < (n - 1)/2 \\ n - k - 1, & \text{при } k \geq (n - 1)/2' \end{cases}$$

$$q_{min} = \begin{cases} 0 & \text{при } (q_i - q_j) \leq n - k - 1 \\ q_i - q_j - (n - k - 1), & \text{при } (q_i - q_j) > n - k - 1' \end{cases}$$

$$q_{max} = \begin{cases} q_i - t, & \text{при } t \geq q_i - (n - k - 1) \\ n - k - 1, & \text{при } t < q_i - (n - k - 1) \end{cases}$$

Рис. 2

сти при минимальных затратах на основе структурных биномиальных чисел, генерируемых биномиальными системами исчисления с двоичным алфавитом, базируется на двух теоретических концептах:

1. В структуре упорядоченного кодированного и преобразуемого множества можно выделить двоичную биномиальную систему исчисления, а кодовым последовательностям такого множества поставить во взаимно однозначное соответствие структурные биномиальные числа.

2. Из процесса решения задач нумерационного кодирования выделяется отдельный этап формирования биномиальных чисел, что приводит, с одной стороны, к универсализации самой задачи биномиальной нумерации, а с другой, к снижению аппаратно-программных и временных затрат при ее практической реализации [4].

Связующим звеном этих концептов является разработка машинной арифметики для биномиальных чисел, с помощью которых подается информация в компью-

терных средствах. С одной стороны, она позволяет реализовать целостность и функциональную полноту математического (и алгоритмического) обеспечения информационно-управляющих систем на основе биномиальных систем исчисления, а с другой — формирует основу для дальнейшего увеличения их производительности за счет новых перспективных методов биномиального кодирования и преобразования данных.

С учетом вышеизложенного, на рис. 1 представлена концепция разработки информационно-управляющей системы, которая использует двоичную биномиальную систему исчисления.

Представленная на рис. 1 концепция, в отличие от существующих технологии построения информационно-управляющих систем на традиционной двоичной системе исчисления, включает в себя новые последовательно выполняемые этапы по преобразованию и кодированию информации с целью решения типовых информационных задач.

На основе исследований помехоустойчивости матричных биномиальных чисел и с учетом того, что количество кодовых состояний системы  $N_c$  можно представить числами с разным соотношением параметров  $n$  и  $k$ , в рамках проводимого моделирования поставлена задача оптимизации параметров информационно-управляющей системы с целью уменьшения аппаратных затрат. Требования к матричным биномиальным компонентам описываются следующей системой [5]:

$$\begin{cases} C_{n+1}^k \geq N_3 \\ k \cdot (n - k + 1) \leq Q_3 \\ V \leq V_3 \end{cases}$$

где  $N_3$  — заданное количество состояний компонента;

$Q_3$  — заданные аппаратные расходы;

$V_3$  — заданное значение вероятности необнаружения ошибки.

Задача состоит в выборе параметров  $n$  и  $k$  матричных биномиальных компонентов, удовлетворяющих выше представленной системе для заданных вероятностей ошибок одного разряда  $p_{01}, p_{10}$ .

Для оценки помехоустойчивости биномиальных кодов следующие соотношения позволяют вычислить вероятности искажения информации на выходе устройства под действием помех в зависимости от уровня ошибок  $p_{01}, p_{10}$  и параметров биномиального кода:

$$\prod = \sum_{q_i=0}^k \sum_{l=1}^{C_{n-k+q_i-1}^{q_i}} p(q_i, l) p_{11}^{q_i} p_{00}^{n-1-q_i}$$

и вероятность необнаружения ошибок (формулы на рис. 2).

Принимая во внимание обозначенное, предлагаем использовать следующий метод выбора оптимальных параметров матричных биномиальных компонентов для обеспечения заданной помехоустойчивости при минимальных аппаратных затратах, который предполагает необходимость прохождения следующих этапов:

*Шаг 1.* Ввод значения вероятностей ошибок  $p_{01}, p_{10}$  одного разряда, ввод заданного значения вероятности необнаружения ошибки  $V_3$ , ввод заданных аппаратурных затрат  $Q_3$  и количества состояний  $N_3$ .

*Шаг 2.* Оптимизация параметров. Вычисление минимальных аппаратурных затрат  $Q_{min}$  компонента цифрового устройства, обеспечивающего количество кодовых состояний  $N_c$  посредством биномиального прямоугольника.

*Шаг 3.* Проверка возможности построения матричного биномиального компонента с заданными аппаратурными затратами. При  $Q_{min} > Q$  задача признается неразрешимой.

*Шаг 4.* Вычисление вероятности необнаружения ошибок  $V$ . При условии  $V \leq V_3$  осуществляется переход к оптимальным параметрам  $n$  и  $k$ , и к следующему шагу 5. При условии  $V > V_3$  выполняется оптимизация параметров  $n$  и  $k$  матричного компонента с целью увеличения помехоустойчивости и осуществляется переход к шагу 2.

*Шаг 5.* Вывод оптимальных параметров  $n$  и  $k$  матричного биномиального компонента.

Эффективно решить задачу передачи и хранения данных в информационно-управляющих системах можно благодаря применению двоичных  $(n, k)$  — биномиальных чисел  $X_j$  и методов сжатия. При этом используются следующие свойства и особенности биномиальных чисел  $X_j$ :

1) длина  $r$  для чисел  $X_j$  изменяется в пределах  $\min(k, n-k) \leq r \leq n-1$  и может быть значительно меньше, чем количество разрядов преобразованных кодовых последовательностей  $A_j$ , где  $A_j \in \{0, 1\}^n$ ;

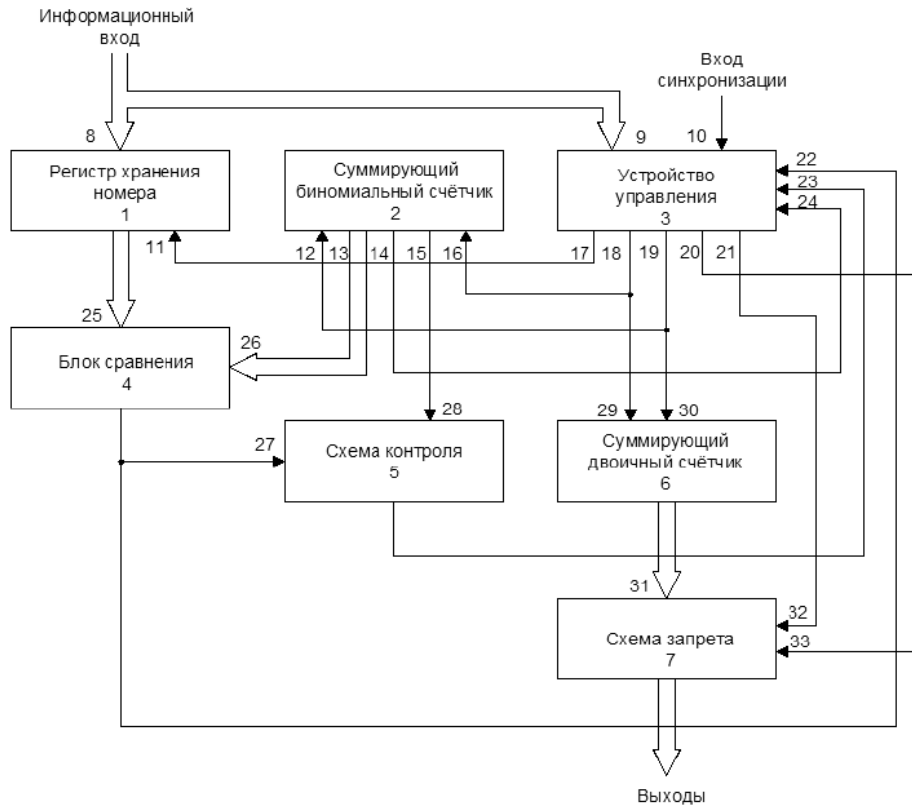


Рис. 2. Структурная схема биномиального преобразователя чисел [6]

- 2) выполняется свойство префиксности для биномиальных чисел  $X_j$ ;
- 3) осуществляются достаточно простые кодовые преобразования последовательностей  $A_j$  в биномиальные числа  $X_j$  и наоборот.

На рис. 2 в качестве примера приведена структурная схема биномиального преобразователя чисел.

Представленная на рис. 2 схема включает в себя регистр хранения биномиального числа, которое преобразуется 1, суммирующий биномиальный счетчик 2, устройство управления 3, блок сравнения 4, схему контроля 5, суммирующий двоичный счетчик 6 и схему запрета 7.

Алгоритм работы схемы биномиального преобразователя чисел может быть представлен следующим образом:

1. Осуществление записи биномиального числа, которое поступает на вход преобразователя, в регистр хранения.
2. Обнуление суммирующих биномиального и двоичного счетчиков.
3. Сравнение биномиального числа, которое находится в регистре хранения, с числом, поступаю-

щим с выходов биномиального суммирующего счетчика.

4. Если отмечается равенство сравниваемых биномиальных чисел в биномиальном счетчике и регистре, то суммирование чисел в обоих счетчиках останавливается.
5. В том случае, когда биномиальный счетчик прошел весь цикл, а сигнал равенства с содержимым регистра так и не был получен, тогда посылается сигнал об ошибке и работа устройства останавливается.
6. Если в числе, находящемся в биномиальном счетчике, появляется число единиц больше  $k$  или количество нулей до первой 1 справа превышает значение  $n - k - l$ , то аналогично предыдущему этапу посылается сигнал ошибки, и работа останавливается.
7. При отсутствии сбоев в работе устройства с выхода схемы запрета на выход преобразователя подается двоичное число, которое является номером преобразуемого биномиального числа.
8. Остановка.

Таким образом, резюмируя вышеизложенное, отметим, что использование двоичной биномиальной системы расчета открывает широкие возможности для

повышения производительности информационно-управляющих систем, а также для обеспечения эффективности решения отдельных информационных задач с точки зрения увеличения быстродействия, сохранения отказоустойчивости и надежности передачи данных при минимуме аппаратно-программных затрат.

В процессе исследования обозначены теоретические концепты, составляющие базис процесса разработки современных информационно-управляющих систем на основе структурных биномиальных чисел, генерируемых биномиальными системами исчисления с двоичным алфавитом. Также отмечено, что связующим звеном этих концептов является разработка машинной арифметики для биномиальных чисел, с помощью которых подается информация в компьютерных средствах. С учетом вышеизложенного, в статье формализована концепция разработки информационно-управляющей системы, использующая биномиальную двоичную систему чисел. Отличительной чертой

данной концепции от уже существующих является то, что она включает в себя новые последовательно выполняемые этапы по преобразованию и кодированию информации с целью решения типовых информационных задач.

Отдельное внимание уделено методу выбора оптимальных параметров матричных биномиальных компонентов для обеспечения заданной помехоустойчивости информационной системы при минимальных аппаратных затратах. В рамках этого метода выделено и детализировано пять взаимосвязанных шагов.

Особое внимание акцентировано на том, что для эффективного решения задачи передачи и хранения данных в информационно-управляющих системах целесообразно использовать двоичные биномиальные числа и методы сжатия. Кроме того, представлен пример структурной схемы биномиального преобразователя чисел и описан алгоритм ее работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вагапова Р. Ю. Разработка информационной системы для исследования моделей систем обработки данных // Инженерные кадры — будущее инновационной экономики России. 2019. № 4. С. 13–15.
2. Probability with R: an introduction with computer science applications / Jane M. Horgan. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2020. 287 p.
3. Yeh, Cheng-Ta Optimal redundancy allocation to maximize multi-state computer network reliability subject to correlated failures // Reliability engineering & system safety. 2017. Volume 166; pp 138–150.
4. de León, José Alfredo Sánchez Calculation of Binomial and Multinomial Coefficients by Sequences of Summations // Mathematics in computer science. 2019. Volume 13: Number 3; pp 403–415.
5. Popuri, Sai K. Parallelizing computation of expected values in recombinant binomial trees // Journal of statistical computation and simulation. 2018. Volume 88: Number 4; pp 657–674.
6. Борисенко А. А. Методы преобразования биномиальных чисел / А. В. Иванчук, С. М. Маценко // Сборник научных трудов SWORLD — 2013. — V. 2. Т. 8 — С. 80–84.

## АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ORACLE ERP CLOUD

## ORACLE ERP CLOUD QUALITY ANALYSIS

**A. Selyutin**  
**M. Bolshelapov**  
**V. Kushnikov**  
**A. Brovko**  
**O. Toropova**

*Summary.* The scientific article is devoted to the quality analysis of Oracle ERP Cloud, which is one of the most popular solutions in the field of enterprise resource planning systems. The study was conducted based on a survey of users working with Oracle ERP Cloud in various companies and industries. The authors have identified the main advantages of this system, such as high data processing speed, user-friendly interface and integration with other systems. However, the authors also found a number of disadvantages, among which was the weak flexibility of configuring the system for specific business needs, the need for additional optimization of processes and high costs for the implementation and maintenance of the system. In general, the article provides valuable information for managers and IT professionals who are interested in implementing Oracle ERP Cloud in their company.

*Keywords:* Oracle ERP Cloud, ERP system, software quality, weight assessment of quality, functionality, reliability, maintainability.

**Селютин Александр Дмитриевич**

Аспирант, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр Российской академии наук»  
aseliutin@ya99.ru

**Большелатов Михаил Александрович**

Аспирант, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А  
mihan3110@yandex.ru

**Кушников Вадим Алексеевич**

Д.т.н., профессор, директор ФИЦ СЦ РАН  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр Российской академии наук»  
kushnikoff@yandex.ru

**Бровко Александр Валерьевич**

Д.ф. — м.н., профессор, доцент, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А  
brovkoav@gmail.com

**Торопова Ольга Анатольевна**

К.т.н., доцент, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А  
toropovaoa@inbox.ru

*Аннотация.* Научная статья посвящена анализу качества Oracle ERP Cloud, который является одним из самых популярных решений в области корпоративных систем планирования ресурсов предприятий. Исследование было проведено на основе опроса пользователей, работающих с Oracle ERP Cloud в различных компаниях и отраслях. Авторы выявили основные преимущества данной системы, такие как высокая скорость обработки данных, удобный интерфейс пользователя и интеграция с другими системами. Однако, авторы также обнаружили ряд недостатков, среди которых была слабая гибкость настройки системы под конкретные потребности бизнеса, необходимость дополнительной оптимизации процессов и высокие затраты на внедрение и обслуживание системы. В целом, статья представляет ценную информацию для руководителей и ИТ-специалистов, которые заинтересованы во внедрении Oracle ERP Cloud в своей компании.

*Ключевые слова:* Oracle ERP Cloud, ERP-система, качество программного обеспечения, весовая оценка качества, функциональность, надежность, обслуживаемость.

## Введение

**Е**RP-системы (от англ. Enterprise Resource Planning) активно применяются сегодня в компаниях различных отраслей. Они позволяют автоматизировать управление ресурсами предприятия, ускорять процессы, повышать эффективность работы сотрудников и повышать качество обслуживания клиентов. Однако, перед внедрением ERP-системы необходимо провести ее анализ на предмет соответствия уникальным требованиям компании и возможности ее настройки и расширения. В данной статье будет рассмотрен анализ качества ERP-системы, который поможет компаниям принять обоснованное решение о покупке и внедрении ERP-системы.

Целью данного исследования является оценка качества ERP-систем с помощью проведения модельного эксперимента и сравнения полученных результатов с требованиями компаний. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Определение критериев качества ERP-систем;
2. Проведение модельного эксперимента для оценки качества ERP-систем;
3. Анализ полученных результатов и сравнение их с требованиями компаний.

## Материалы и методы

Для проведения исследования были использованы следующие методы и материалы:

1. Анализ существующей литературы по схожей предметной области;
2. Опрос компаний для получения информации о требованиях к ERP-системам;
3. Модельный эксперимент на базе программного обеспечения Oracle ERP Cloud.

## Литературный обзор

Oracle ERP Cloud является одной из самых популярных облачных платформ на рынке, предназначенной для автоматизации бизнес-процессов предприятия. Несколько лет назад Oracle начала активно продвигать свой облачный ERP, чтобы привлечь большее количество клиентов и сделать свою платформу более доступной. В настоящее время существует множество исследований, посвященных анализу качества Oracle ERP Cloud, которые позволяют получить полную картину о том, насколько эта платформа подходит для любого бизнеса.

Одним из самых значимых исследований в данной области является статья [1]. Работа проводит анализ возможностей Oracle ERP Cloud для малых и средних предприятий, исходя из результатов множества иссле-

дований, проведенных на основе реальных кейсов. Исследование показывает, что Oracle ERP Cloud может быть полезна для малых и средних предприятий, сравнимых с другими продуктами на рынке.

Кроме того, статья [2], проводит анализ нескольких облаков ERP, включая Oracle ERP Cloud, и оценивает их пригодность для управления финансами предприятий. Работа проведена на основе исследования нескольких кейсов использования, и показала, что Oracle ERP Cloud является достойной альтернативой другим платформам для управления финансами.

Кроме того, еще одной значимой работой является статья [3], которая исследует критические факторы успеха при внедрении облачных ERP-систем, включая Oracle ERP Cloud. Работа проведена на основе детальной аналитики множества случаев использования *in situ*, и показывает, что Oracle ERP Cloud обладает многими характеристиками, которые делают ее одной из лучших платформ на рынке.

Таким образом, исследования, посвященные анализу качества Oracle ERP Cloud, указывают на то, что эта платформа является достаточно привлекательной для малых и средних предприятий, а также она имеет некоторые ключевые преимущества перед другими платформами на рынке. Однако, для конкретных бизнесов могут существовать какие-то особенности в использовании этой платформы, которые могут исключать возможность ее применения.

## Модельный эксперимент

Для проведения модельного эксперимента было выбрано программное обеспечение Oracle ERP Cloud [4–9]. Это программное обеспечение было выбрано из-за его широких возможностей и наличия множества функций, которые могут быть полезны для компаний различных отраслей. Для проведения модельного эксперимента были использованы следующие критерии качества ERP-систем:

1. Функциональность. ERP-система должна предоставлять полный комплекс функций для управления ресурсами компании, включая финансы, продажи, закупки и складскую логистику;
2. Надежность. ERP-система должна быть стабильной и надежной, чтобы обеспечивать бесперебойную работу компании;
3. Скорость работы. ERP-система должна работать быстро и без задержек, чтобы не мешать бизнесу компании;
4. Простота использования. ERP-система должна быть проста в использовании и иметь понятный интерфейс для пользователей;

5. Поддержка и обслуживание. ERP-система должна быть поддерживаемой и иметь возможность быстрого решения любых проблем.

Был проведен тест Oracle ERP Cloud на предмет соответствия указанным выше критериям (каждый параметр оценивался экспертами от 1 до 5):

1. Функциональность. Специалисты по бизнес-процессам и учету из разных компаний использовали систему Oracle ERP Cloud в течение двух недель и оценили ее функциональность, оценивая, насколько полно система покрывает их бизнес-процессы. Эксперты также проверили возможность настройки системы в соответствии с требованиями конкретной компании (4 балла из 5);
2. Надежность. Мы провели серию тестов надежности, включая проверку системы на прочность при сильных нагрузках и наличие механизмов восстановления после сбоев. Эксперты также оценили качество технической поддержки со стороны производителя системы в 5 баллов из 5;
3. Скорость работы. Для оценки скорости работы системы мы провели тесты на различных устройствах и в разных сетевых условиях. Эксперты также проверили скорость доступа к базе данных и время отклика системы на запросы. Была поставлена оценка 3 из 5;
4. Простота использования: Специалисты по пользовательскому интерфейсу провели тесты, чтобы проверить, насколько просто и интуитивно понятно пользователи могут работать с системой. Эксперты также проверили наличие документации и обучающих материалов (4 из 5);
5. Поддержка и обслуживание. Для оценки поддержки и обслуживания мы провели опрос пользователей системы, чтобы выяснить, насколько быстро производитель системы реагирует на проблемы и насколько эффективно решает их (5 из 5).

Итоговая оценка ERP-системы Oracle ERP Cloud (4,2 из 5) показала высокую оценку по всем параметрам качества. Функциональность и скорость работы были оценены на высоком уровне, надежность системы показала хороший результат с возможностью восстановления после сбоев. Простота использования оказалась на очень высоком уровне благодаря интуитивно понятному пользовательскому интерфейсу и наличию качественной документации. Поддержка и обслуживание системы также были оценены на высоком уровне благодаря быстрым и квалифицированным ответам на запросы пользователей.

## Результаты

Oracle ERP Cloud является основной платформой управления предприятиями с возможностями, которые включают финансы, управление проектами, логистику, управление кадрами и управление закупками. Система была разработана Oracle для того, чтобы удовлетворить потребности компаний любого размера и в любой отрасли, и является одним из наиболее популярных ERP-решений на рынке.

Oracle ERP Cloud предоставляет широкий спектр функциональных возможностей, которые позволяют управлять финансами, операционными процессами, кадрами и закупками. Система также предлагает возможности интеграции с другими приложениями, такими как CRM и управление цепями поставок. В целом, в данной категории система получила высокие оценки за ее функциональные возможности, надежность и производительность Oracle ERP Cloud являются ключевыми моментами, которые важны для пользователей. Система предлагает высокую производительность и отзывчивость. Также, Oracle ERP Cloud имеет высокий уровень надежности и учитывает резервное копирование данных. В целом, система получила высокие оценки в этой категории. Интерфейс и удобство использования: Oracle ERP Cloud имеет современный и интуитивно понятный интерфейс. Возможности настройки интерфейса также добавляют гибкости при использовании системы. В целом, система получила положительные оценки за пользовательский интерфейс. Oracle ERP Cloud имеет широкий спектр мер защиты данных и доступа. В системе используются методы шифрования, аутентификации и контроля доступа. В целом, система получила высокие оценки за безопасность и конфиденциальность. Oracle ERP Cloud имеет хорошо развитую техническую поддержку. Компания предоставляет обширную документацию и инструменты для обучения пользователей. Также имеются различные планы поддержки, которые могут быть выбраны. В целом, система получила положительные оценки в этой категории.

В итоге, Oracle ERP Cloud признана одной из наиболее качественных ERP-систем на рынке. Система обладает высоким уровнем функциональности, надежности и безопасности, а также обеспечивает хорошую техническую поддержку. Однако, необходимо отметить, что использование данной системы может быть дорогостоящим.

## Обсуждение

В данной научной статье был проведен пошаговый анализ качества Oracle ERP Cloud. В ходе исследования



были выявлены как плюсы, так и недостатки данного решения. Одним из главных плюсов Oracle ERP Cloud является его удобство в использовании. Система имеет простой и интуитивно понятный пользовательский интерфейс, который помогает сократить время на обучение и повысить производительность работников.

Кроме того, было обнаружено, что Oracle ERP Cloud имеет богатый функционал и значительно сокращает время на обработку финансовой и операционной отчетности. Благодаря встроенным функциям аналитики и отчетности, пользователи могут быстро получить доступ к ключевым данным, необходимым для принятия решений. Но, как и у любой системы, у Oracle ERP Cloud есть и недостатки. Один из главных недостатков заключается в сложности интеграции с другими системами, что может быть проблемой для больших организаций, которые используют множество различных приложений. Кроме того, у системы есть высокая стоимость внедрения и поддержки, что может быть проблемой для малых и средних предприятий.

Данный анализ качества Oracle ERP Cloud может быть полезен для представителей бизнеса, которые планируют внедрение данной системы. Наше исследование дает возможность оценить плюсы и минусы этой системы, а также рассмотреть альтернативы.

### Заключение

В заключение можно сказать, что анализ проведенной работы показал, что Oracle ERP Cloud является достаточно надежной, функциональной и инновационной ERP-системой, которая может эффективно решать задачи управления бизнесом в различных отраслях и масштабах. Использование данной системы позволяет повысить эффективность бизнес-процессов, оптимизировать расходы и увеличить прибыльность компании.

Однако, при выборе данной системы, необходимо учитывать особенности бизнес-процессов организации и провести тщательную оценку стоимости и эффективности ее использования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. K. Babu and P.V. Prasad, Measuring ERP success: a case study of an Indian SME (Journal of Enterprise Information Management 25, no. 4, 2012), pp. 378–395.
2. S. Sarker and B. Lee, Using a case study to test the role of three key social enablers in ERP implementation (International Journal of Information Management 24, no. 6, 2004), pp. 539–552.
3. Tarhini, B. Hassan, Factors affecting the adoption of ERP in developing countries: an exploratory study (International Journal of Enterprise Information Systems 8, no. 4, 2012), pp. 23–43.
4. Davenport, T. (2008). Putting the enterprise into the enterprise system. Harvard business review, 59–68.
5. Gronau, N. (2013). Service orientation and enterprise architectures. Springer Science & Business Media.
6. H.W. Kim, J.W. Lee, and M.Y. Kim, The impact of organizational characteristics on ERP system implementation: a case study of Korea (Information & Management 43, no. 4, 2006), pp. 506–516.
7. J.H. Kim and J.H. Lee, An empirical study of the factors affecting ERP implementation in Korea (Journal of Global Information Management 12, no. 3, 2004), pp. 1–19.
8. Monahan, G., & Muchiri, P. N. (2012). ERP systems and their effects on organizations: A proposed scheme for ERP success. Communications of the IBIMA, 2012.
9. Корпоративное управление. — М.: Юнайтед Пресс, 2007. — 224 с.

© Селютин Александр Дмитриевич ( aseliutin@ya99.ru ), Большелопов Михаил Александрович ( mihan3110@yandex.ru ),

Кушников Вадим Алексеевич ( kushnikoff@yandex.ru ), Бровко Александр Валерьевич ( brovkoav@gmail.com ),

Торопова Ольга Анатольевна ( toropovaoa@inbox.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СЕМАНТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ: ОБЗОР ПРОЦЕССОВ, ИНСТРУМЕНТОВ, МЕТОДОВ И ЗНАНИЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ (ЧАСТЬ 2)

## SEMANTIC MODELING OF THE SOFTWARE DEVELOPMENT DOMAIN: TOOLS, METHODS, KNOWLEDGE (PART 2)

**A. Timofeev  
I. Evdokimova  
N. Khaptakhaeva**

*Summary.* The article provides an overview of the methods and tools used in the software life cycle processes, according to ISO / IEC 12207 related to the categories of project processes. The review is made in order to highlight the main entities and relationships used in the semantic modeling of the subject area of software development.

*Keywords:* semantic modeling, systems development life cycle, software development.

**Тимофеев Александр Николаевич**

Генеральный директор ООО «СибДиджитал»  
tan@sibdigital.net

**Евдокимова Инга Сергеевна**

Канд. техн. наук, доцент, Восточно-Сибирский  
государственный университет технологий  
и управления  
evdinga@gmail.com

**Хаптахеева Наталья Баясхалановна**

Канд. техн. наук, доцент, Восточно-Сибирский  
государственный университет технологий  
и управления  
khapnb@gmail.com

*Аннотация.* В статье проведен обзор методов и инструментов, используемых в процессах жизненного цикла программного обеспечения (ПО), согласно ISO / IEC 12207, относящихся к категориям процессов проекта. Обзор выполнен в целях выделения основных сущностей и отношений, используемых при семантическом моделировании предметной области разработки программного обеспечения.

*Ключевые слова:* семантическое моделирование, жизненный цикл программного обеспечения, разработка программного обеспечения.

## Введение

**В** рамках настоящей работы рассматриваются процессы жизненного цикла в соответствии с международным стандартом ISO / IEC 12207 (в России — ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–2010 «Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств»).

Поскольку исследование требует обработки слабоструктурированных текстовых данных, то для построения семантической модели может быть применен подход, называемый «слоеный пирог обучения онтологий» [14], предполагающий последовательное структурирование информации в порядке, показанном на рисунке 1.

В рамках выбранного стандарта при анализе материалов выделяются термины (инструменты, системы), устанавливаются отношения синонимии между ними (одинаковая функциональность), выделяются концепты (классы систем и инструментов) и отношения

между ними уже установлена [2]. Термины, концепты и отношения между ними могут быть определены вне стандартов. Описания процессов в каждом стандарте можно считать аксиомами. Учитывая множественность стандартов отношения с применением указанного подхода, могут быть установлены и между стандартами и их составными частями.

В первой части были рассмотрены процессы, относящиеся к группе «Процессы проекта». В результате обзора содержательной части данных процессов был выявлен ряд классов сущностей и семантических отношений между ними [9].

Во второй части рассматриваются процессы группы «Технические процессы» и будут исследованы концептуальные отношения — качественные и количественные в разрезе следующих понятийных сфер: абстрактное-конкретное, принадлежность, форма и содержание, процессуальность, тождество и противоречие.

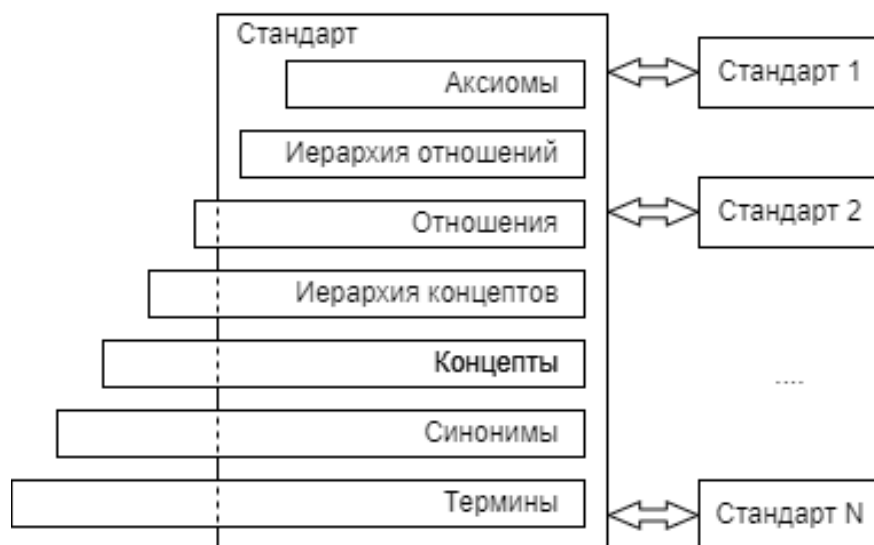


Рис. 1. «Подход к построению семантической модели»

### Технические процессы

Технические процессы используются для определения требований, их преобразования в полезный продукт, применения продукта, обеспечения требуемых услуг, поддержания обеспечения этих услуг и изъятия продукта из обращения, если он не используется при оказании услуги. Технические процессы определяют деятельность, которая дает возможность реализовывать организационные и проектные функции, являющиеся следствием технических решений и действий, и определяет такие свойства продуктов, как своевременность, доступность, результативность затрат, а также функциональность, безотказность, ремонтпригодность, продуктивность, приспособленность к применению и т.д. [1].

### Процесс определения требований правообладателей

Цель процесса определения требований правообладателей — выявить требования, выполнение которых может обеспечивать предоставление услуг, необходимых пользователям и другим правообладателям в заданной среде применения [1].

Требования правообладателей могут выражаться в форме потребностей, пожеланий, требований, ожиданий и воспринятых ограничений отдельных правообладателей, которые, в свою очередь, выражаются в терминах текстовой или формализованной модели [1]. Для формализации требований на данном этапе могут быть использованы специальные языки специ-

фикации и нотации, такие как UML (Unified Modeling Language), ERD (Entity-Relationship Diagrams), DFD (Data Flow Diagrams), RDL (Report Definition Language), BPMN (Business Process Modeling Notation), семейство IDEF (Integrated Definition), ARIS (Architecture of Integrated Information Systems), Mind map и др., которые позволяют описать и структурировать требования к создаваемой системе, сопоставить и установить связи требований с источниками, а также сделать требования более понятными и доступными для всех участников процесса разработки.

Среди инструментов для работы с диаграммами вариантов использования (use case) можно выделить инструменты, ориентированные на визуализацию — Dia, Draw.io, Lucid Chart и ориентированные на структуризацию — Microsoft Visio.

Среди инструментов для работы с ментальными картами можно выделить FreeMind (интегрируется с wiki-движками), Docear, Microsoft Visio, MindManager XMind, Miro.

Необходимо учитывать, что в рамках данного процесса определяется базовая версия требований, которая в дальнейшем может существенно изменяться. Для того, чтобы изменения не были стихийными необходимо определить правила составления версий требований, статусы требований, способы внесения изменений, методы анализа влияния предлагаемых изменений и способы отслеживания связей плана проекта, внешних факторов и текущей версии требований.

## Процесс анализа системных требований

Цель анализа системных требований состоит в преобразовании определенных требований правообладателей в совокупность необходимых системных технических требований — одинаково понимаемых всеми заинтересованными сторонами утверждений о свойствах системы — которыми будут руководствоваться в проекте системы. Также в процессе анализа требований необходимо убедиться в полноте, точности и достаточности требований, что связано с задачей оценки качества требований.

Не существует универсальной модели оценки качества требований. Среди имеющихся можно выделить: ISO/IEC/IEEE 29148:2018 «Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering» [10], BABOK Guide v3.0 (Business Analysis Body of Knowledge), CMMI (Capability Maturity Model Integration), ГОСТ Р ИСО/МЭК 25051–2017 [11] и ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010–2015 [12] и др. Каждый из них содержит свои собственные методы и меры оценки требований.

Однако, анализируя их, можно выделить характерные критерии: прослеживаемость между системным требованием и базовой линией требований заказчика, корректность с технической и юридической точек зрения, согласованность с потребностями заказчика и другими требованиями, полнота описания, модульность, тестируемость и идентифицируемость, осуществимость с точки зрения архитектуры, осуществимость функционирования и сопровождения [3] и др.

При этом выделяются такие виды требований, как функциональные, управленческие, эргономические, архитектурные, а также требования к взаимодействию и сервисного уровня.

В целях соответствия указанным критериям при управлении требованиями выделяют ряд составляющих: управление версиями, управление изменениями, отслеживание состояния требований, отслеживание связей требований [4], которые обеспечиваются системами управления требованиями (СУТ), Requirements Management Systems, RMS. Среди них можно выделить IBM Rational ClearQuest, Doorstop, rmToo, SILA Union, REQCHECKER, Micro Focus Dimensions RM, ReqView, Case Complete и др.

На практике многие проекты начинают реализовываться в условиях, когда не все требования сформулированы, что обуславливает необходимость управления «отложенными решениями». Риски, связанные

с «отложенными решениями», как правило коррелируют со степенью соответствия требований критериям, описанным выше. Управление рисками, связанными с «отложенными решениями», требует комплексного подхода и постоянного мониторинга, а расстановка приоритетов и разработка стратегии управления рисками являются ключевыми элементами этого процесса [13].

## Процесс проектирования архитектуры системы

Цель процесса проектирования архитектуры системы заключается в определении того, как системные требования следует распределить относительно элементов системы [1]. Для этого должна быть создана и оценена архитектура, определяющая основные компоненты системы, внутренние и внешние интерфейсы взаимодействия. Функциональные и нефункциональные требования должны быть распределены по компонентам системы таким образом, чтобы прослеживалась взаимосвязь с базовой линией заказчика.

В рамках проектирования архитектуры системы создается логическая архитектура, состоящая из набора связанных технических концепций и принципов, которые можно охарактеризовать как набор решений, существенно не изменяющихся при изменении бизнес-процессов, но существенно влияющих на совокупную стоимость владения системой (Total Cost of Ownership, TCO). Поэтому при создании информационных систем следует стремиться выбирать архитектуру системы с минимальной совокупной стоимостью владения, состоящей из плановых затрат и стоимости рисков [5].

Выделяют следующие типы архитектур: бизнес-архитектура (business architecture), ИТ архитектура (information technology architecture), архитектура данных (data architecture), а также архитектура знаний (knowledge architecture), архитектура приложения (application architecture) или программная архитектура (software architecture), техническая архитектура (hardware architecture) [5]. В зависимости от функциональности и сложности системы могут быть рассмотрены архитектура безопасности (security architecture), архитектура облачных вычислений (cloud architecture) и архитектура интернета вещей (IoT architecture).

Детальное изложение подхода к описанию архитектуры приводится в ГОСТ Р 57100–2016 Описание архитектуры, соответствующем международному стандарту ISO/IEC/IEEE 42010:2011 «Systems and software engineering — Architecture description». В нем описаны семантические отношения контекста описания архи-

тектуры, концептуальной модели описания архитектуры, элементов, связей, решений, структуры, языка описания архитектуры и других сущностей и связей между ними [6]. Например, система представляется в архитектуре (семиотическое отношение «термин — способ представления»), а архитектура выражается в описании архитектуры (семиотическое отношение «термин — способ выражения»), которое определяет рассматриваемую систему (семиотическое отношение «термин — способ выражения») [2].

Важным аспектом проектирования архитектуры является выбор нотаций и методологий, с помощью которых осуществляется моделирование, среди которых распространены следующие: IDEF — семейство структурных моделей и соответствующих им диаграмм; DFD — диаграммы потоков данных; ERD — диаграммы «сущность-связь»; Workflow — технология управления потоками работ; BPMN; раскрашенные сети Петри (Color Petri Nets, CPN); унифицированный язык моделирования UML и его расширение SysML (The Systems Modeling Language); интегрированные средства и методологии широкого назначения, например ARIS (Architecture of Integrated Information Systems), SADT (structured analysis and design technique) или TOGAF (The Open Group Architecture Framework), использующая нотацию ArchiMate (Architecture-Animate) [5]. Также популярными являются методологии Lean Architecture и Agile Architecture основанные на принципах Lean Thinking и Agile-разработки и использующие SAFe (Scaled Agile Framework) для масштабирования Agile-разработки на предприятии.

Для моделирования в перечисленных выше нотациях применяются такие инструменты как Microsoft Visio, Dia, Draw.io, Lucid Chart, Archi, Camunda Modeler, StarUML, Bizagi Modeler, PlantUML, Mermaid, UMLet, bpmn-js, ERD.

При проектировании архитектуры распространена практика обращения к стандартам, лучшим практикам, стилям, готовым моделям, шаблонам и паттернам проектирования, таким как MVC (Model-View-Controller), Flux, MVP (Model-View-Presenter), PAC (Presentation-abstraction-control), MVVM (Model-View-ViewModel), GERAM (Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology), RM-ODP, Схема Захмана, модель представления Крухтена «4+1». Также могут использоваться сборники примеров, такие как <https://github.com/donnemartin/system-design-primer>.

### Процесс комплексирования системы

Цель процесса комплексирования системы заключается в объединении системных элементов для соз-

дания полной системы, которая будет удовлетворять проекту и ожиданиям заказчика [1].

В результате данного процесса составные части системы должны быть сконфигурированы и объединены в единый готовый для тестирования комплекс. Готовность к тестированию определяется наличием документированных тестов для каждого квалифицированного требования к системе.

Успешность комплексирования системы зависит от того, насколько эффективно проведены анализ требований и проектирование системы с точки зрения обеспечения высокой производительности, надежности и безопасности, а также от следующих этапов:

- ◆ декомпозиции системы на подсистемы, компоненты, сервисы и модули. Для этого могут использоваться хорошо зарекомендовавшие себя нотации и средства моделирования, примеры которых описаны в предыдущем разделе;
- ◆ выделения зависимостей между объектами декомпозиции. Данный этап может быть успешно выполнен путем применения пяти архитектурных принципов SOLID (SRP — принцип единственной ответственности, single responsibility principle; OCP — принцип открытости/закрытости, open-closed principle; LSP — принцип подстановки Лисков, Liskov substitution principle; ISP — принцип разделения интерфейса, interface segregation principle; DIP — принцип инверсии зависимостей, dependency inversion principle) [7];
- ◆ определения программных интерфейсов (API — Application Programming Interface). Правильное определение программных интерфейсов важно, поскольку с их использованием компоненты системы взаимодействуют друг с другом. Один из критериев правильности может быть описан как соответствие сигнатуры функции ее семантике. Для этого важно использовать средства документирования API, такие как Redoc, Swagger UI, OpenAPI-GUI, Apicurio, stoplightio, RAML и др.;
- ◆ определения конкретных реализаций компонентов. Для этого должно быть принято решение о том, будет ли использован готовый компонент или необходима разработка нового. В случае разработки нового должен быть определен технологический стек. При выполнении данной работы могут быть использованы своды лучших практик и awesome-списки (Awesome Python, Awesome React, Awesome CSS и пр.), поскольку на практике существенная часть задач, характерных для бизнес-приложений, уже была решена и описана в открытых источниках.

### Процесс квалификационного тестирования системы

Цель процесса квалификационного тестирования системы заключается в подтверждении того, что реализация каждого системного требования тестируется на соответствие, а система готова к поставке [1].

В результате данного процесса должны быть разработаны критерии тестирования, проведено тестирование и задокументированы его результаты.

Различают различные виды тестирования: по степени автоматизации (ручное и автоматическое), по объекту тестирования (функциональное, производительности, безопасности, юзабилити), по степени изолированности (компонентное, интеграционное, системное), по времени проведения (альфа, бета, регрессионное), по степени подготовленности (интуитивное, по документации).

Для управления тестированием используются системы управления тестированием (Test Management System, TMS) реализующие функции планирования тестирования и взаимодействия с артефактами, версионирования планов и артефактов тестирования, оповещения, сбора данных и мониторинга стадии тестирования и качества тестируемого продукта. Среди систем данного класса выделяют: ALM Octane, Test IT, TestRail, Zephyr, Allure, PractiTest, Cerberus Testing, TestLink, Nitrate, Zebrunner, HP Quality Center.

### Процесс инсталляции программных средств

Цель процесса инсталляции программных средств заключается в установке программного продукта, удовлетворяющего заданным требованиям, в целевую среду применения [1].

В рамках данного процесса разрабатывается стратегия инсталляции, критерии проверки соответствия инсталляции требованиям и проводится непосредственная инсталляция. Стратегия инсталляции может быть выражена в виде набора правил или инструкций. В настоящее время инсталляция проводится с использованием подходов «конфигурация как код» (Configuration-as-code, CaC, GitOps) и инфраструктура как код (IaC), а также инструментов непрерывной интеграции (Continuous Integration). Для реализации данных подходов можно выделить такие инструменты как ArgoCD, Flux, Tekton, Werf, Terraform, SaltStack, Puppet, Chef, Ansible. Среди инструментов непрерывной интеграции можно выделить GitLab CI, Github Actions, Jenkins, TeamCity.

При инсталляции необходимо учитывать следующие, относящиеся к разделению по уровням, факторы:

Использование виртуализации. Виртуализации может подвергаться вся платформа, операционная система, программное обеспечение (виртуальные машины и приложения), память, система хранения данных, сеть и т.д. Операционные системы могут виртуализироваться с помощью гипервизоров, подразделяемых на первый (автономный, тонкий, исполняемый на «голом железе», Type 1, native, bare-metal) и второй (хостовый, монитор виртуальных машин, hosted, Type-2, V) типы [8], а также гибридные. К первому типу могут быть отнесены VMWare ESXi, KVM (может быть отнесен ко второму типу), Xen, Hyper-V, однако, два последних могут быть также отнесены к гибриднему типу. Ко второму типу могут быть отнесены Oracle VM VirtualBox, VMWare Workstation.

Использование контейнеризации. Контейнеризация представляет собой виртуализацию на уровне операционной системы, при котором ядро операционной системы поддерживает несколько изолированных экземпляров пространства пользователя вместо одного. Среди основных средств контейнеризации выделяют Docker, Podman, LXC, LXD, runc, crun.

Необходимость оркестрации. В случае, если инсталляция осуществляется с использованием нескольких контейнеров, рационально автоматически размещать, управлять и координировать их взаимодействие, то есть выполнять оркестрацию. Среди средств оркестрации выделяют Kubernetes, Docker Swarm, Docker-compose, Apache Mesos, OpenShift, Nomad. Для указанных средств оркестрации или контейнеров, управляемых ими, могут быть применены средства автоматизации жизненного цикла и построения процессов управления, такие как Conductor, Cloudify, Rancher, Containership, AZK, а также средства управления кластером, такие как k9s, Lens, KubectI, Marathon.

Указанные факторы непосредственно влияют на соответствие инсталляции требованиям, например, в части надежности и отказоустойчивости системы, а также на сложность процессов реализации и поддержки. В связи с этим добросовестной практикой при инсталляции считается учитывать зависимости между уровнями и определять ответственных за каждый уровень, в том числе аппаратный.

### Процесс поддержки приемки программных средств

Цель процесса поддержки приемки программных средств заключается в содействии приобретающей

стороне в обеспечении уверенности в том, что продукт соответствует заданным требованиям [1].

В рамках данного процесса разработчик должен решить следующие задачи:

Скомплектовать, поставить и обеспечить применение системы по назначению. В настоящее время данная задача преимущественно решается с использованием инструментов непрерывной интеграции.

Выполнить поддержку приемочных тестов и ревизий, выполняемых принимающей стороной. Для этого используют системы управления тестированием, стандарты и модели формализации требований, а также системы управления требованиями.

Идентифицировать и обеспечить решение проблем. Для этого используют трекеры задач, а найденные решения документируют с применением wiki-движков, систем управления контентом или систем управления знаниями.

Обеспечить обучение приобретающей стороны. Обучение обеспечивается путем передачи соответствующей документации и проведения обучения, в том числе с использованием систем управления обучением (learning management system, LMS), таких как Moodle, Open edX LMS, Sakai, ILIAS, OpenOLAT.

### Процесс функционирования программных средств

Цель процесса функционирования программных средств заключается в применении программного продукта в предназначенной для него среде и обеспечении поддержки заказчиков программного продукта [1].

Процесс функционирования программных средств выполняется оператором программного средства. На практике оператором часто является заказчик программного обеспечения. Однако, если система предоставляется как услуга (SaaS, software as a service), то оператор, заказчик и пользователи системы могут быть разделены, в том числе являться разными юридическими лицами. При этом каждый уровень среды, в которой функционирует система, также может предоставляться в качестве услуги, у которой есть свой оператор (например, система может быть размещена в арендуемой виртуальной инфраструктуре, мощности для которой предоставляет сторонний центр обработки данных).

В процессе функционирования должны быть определены и оценены условия корректной работы системы, произведены настройки и консультации, в совокуп-

ности обеспечивающие функционирование системы в предназначенной для нее среде. Выше были описаны средства доставки, настройки окружения и учета обращений, которые должны обеспечивать нормальное функционирование системы.

В случае инцидентов должна быть обеспечена прослеживаемость причин инцидента, а также должен быть определен ответственный за устранение инцидента и его причин. Для этого используют различные инструменты мониторинга такие как Zabbix, Icinga, Prometheus, Nagios, Netdata, LibreNMS, PagerDuty и др. Указанные инструменты позволяют оперативно реагировать на инциденты, устанавливать их причины и анализировать предпосылки данных причин. На практике особое внимание обращают на мониторинг границ сред и границ организационной ответственности.

### Процесс сопровождения программных средств

Цель процесса сопровождения программных средств заключается в обеспечении эффективной по затратам поддержки поставляемого программного продукта [1]. Совокупность характеристик, минимизирующих затраты на устранение ошибок и модификацию согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 14764–2002 определяется как сопровождаемость. Согласно ГОСТ выделяют следующие виды сопровождения: корректирующее (corrective maintenance — корректируются только обнаруженные проблемы), профилактическое (preventive maintenance — корректируются скрытые проблемы в целях их предотвращения), адаптивное (adaptive maintenance — осуществляется модификация для обеспечения работоспособности в меняющейся среде), полное (perfective maintenance — программное обеспечение модифицируется для повышения характеристик и улучшения сопровождаемости).

В каскадной модели сопровождение выделяется в отдельную фазу жизненного цикла, при этом в ГОСТ 34.601–90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания» различают сопровождение в рамках гарантийного и послегарантийного обслуживания. При этом, например, в спиральной модели сопровождение не выделяется как отдельный этап.

Сопровождение программных средств проводится с использованием соответствующего конгломерата инструментальных (вспомогательных) программных средств, методов и технологий программной инженерии.

Таблица 1. Сущности и отношения между ними.

	Стандарт	Процесс	Класс задач	Класс систем	Инструмент
Стандарт	Быть синонимом	Включать в себя Обобщать	Включать в себя Обобщать		
Процесс	Принадлежать Реализовывать	Быть синонимом	Включать в себя	Обобщать	
Класс задач	Принадлежать Реализовывать	Принадлежать	Быть синонимом	Обобщать	
Класс систем		Реализовывать	Реализовывать	Быть синонимом	Включать в себя Обобщать
Инструмент				Принадлежать Реализовывать	Быть синонимом

Среди программных средств можно выделить трейкеры задач и системы поддержки (helpdesk) такие как GLPI, Request Tracker, Helpy, osTicket, Faveo, FreeScout, Zammad. Для определения стоимости сопровождения программных средств используются CASE-средства.

### Процесс прекращения применения программных средств

Цель процесса прекращения применения программных средств состоит в обеспечении завершения существования системного программного объекта [1].

В ходе прекращения применения программного средства составляется план, предусматривающий в том числе прекращение поддержки, архивирование или уничтожение данных и компонентов системы, обеспечение доступа к архиву и переход к новому программному продукту.

В случае перехода на другой программный продукт практикуется введение периода, когда производится параллельная работа в прекращаемом и внедряемом программном обеспечении. Параллельное ведение позволяет проверить соответствие данных и расчетов в программном обеспечении (т.е. провести сложные сценарные тесты), уточнить функциональные требования к внедряемому программному обеспечению, а также снизить риски простоя или критических проблем внедряемого программного обеспечения.

После завершения параллельного ведения производится миграция данных из одной системы в другую. Миграция может быть как однократной и непродолжительной по времени, так и многократной (в таком случае можно говорить о первоначальной миграции и дальнейшем информационном обмене) и продолжительной во времени. Для миграции может использоваться как прямое обращение от системы к системе, так и связующее программное обеспечение, ориентированное на обработку сообщений (message-oriented

middleware, MOM), например, службы обмена сообщениями (брокеры, message broker, integration broker, interface engine), ETL-системы (Extract, Transform, Load) и сервисные шины данных (enterprise service bus, ESB). Среди служб обмена сообщениями можно выделить Apache Kafka, RabbitMQ, ZeroMQ, IBM MQ, Apache ActiveMQ, KubeMQ. Среди ETL-систем и сервисных шин можно выделить Apache Camel, Apache NiFi, Node-RED, Airbyte, Pentaho, Singer.

Также после прекращения применения производится сохранение знаний о программном обеспечении. Оно необходимо в случаях обращения к архивным данным (например, миграции могут не подлежать первичные данные или миграция могла не проводиться в связи с отсутствием системы-приемника). Для сохранения знаний могут быть использованы wiki-страницы на основе wiki-движков, например, MediaWiki, DokuWiki, Gollum, сочетающие хранение wiki-страниц с управлением версиями через git, или специализированная система управления знаниями (Knowledge Management Systems, KMS), такая как Atlassian Confluence, Notion, AFFiNE, Obsidian, Helpy или Documize.

После прекращения применения один или несколько экземпляров программного обеспечения могут быть сохранены в работоспособном состоянии для обеспечения доступа к архивным данным. В некоторых случаях для этого используются эмуляторы или среды виртуализации, такие как DOSBox, QEMU, Vochs, Proxmox VE, OpenVZ, Xen, oVirt, а также описанные в разделе «Процесс инсталляции программных средств» средства.

### Заключение

В статье рассмотрены процессы группы «Технические процессы» ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–2010 «Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств» и исследованы концептуальные отношения —



квалитативные и количественные в разрезе следующих понятийных сфер: абстрактное-конкретное, принадлежность, форма и содержание, процессуальность, тождество и противоречие. Дан краткий обзор инструментов, а также некоторых методов и практических приемов применяемых для решения задач, относящихся к категории процессов проекта.

Исследование источников проведено с применением подхода «слоеный пирог обучения онтологий» [14]: в текстах были выделены сопоставляемые инструментам термины и отношения между ними, далее выделены концепты, сопоставленные классам систем и задач. Выделение проводилось по эквивалентным аксиомам процессам стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–2010.

Основные выявленные сущности и отношения, которые могут быть использованы при построении семантической модели приведены в Таблице 1.

Процессы являются частью стандартов (принадлежность, отношение агрегации), вместе с тем, процессы

разных стандартов могут коррелировать, или быть синонимами (тождество и противопоставление).

Стандарты включают (принадлежность, отношение агрегации) в себя процессы и классы задач. Процессы могут включать классы задач и обобщать (абстрактное-конкретное, отношение иерархии «Род-Вид») классы систем. Классы задач обобщают классы систем. Классы систем реализуют процессы и классы задач, включают в себя и обобщают инструменты. Все сущности могут являться синонимами друг друга.

Таким образом, анализ процессов, проведенный в двух частях статьи [9] позволил выявить ряд сущностей и основных отношений между ними и провести их первичную систематизацию.

Статья является второй частью работы по анализу процессов жизненного цикла программного обеспечения. В следующей части предполагается провести обзор процессов категории «Процессы реализации программных средств».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–2010 «Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств»
2. Найханова Л.В. Технология создания методов автоматического построения онтологий с применением генетического и автоматного программирования [Текст] / Л.В. Найханова. — Улан-Удэ: Издательство БНЦ СО РАН, 2008. — 287 с.
3. Травасолли Д. Управление требованиями. Десять шагов к совершенству. [Электронный ресурс] URL: [https://www.swd.ru/files/pdf/IBM\\_uspeh\\_edit1.pdf](https://www.swd.ru/files/pdf/IBM_uspeh_edit1.pdf) (дата обращения: 28.11.2022)
4. Приемы управления требованиями к ПО. [Электронный ресурс] URL: <https://analytics.infozone.pro/requirements-analysis/requirements-management-methods/> (дата обращения: 28.11.2022)
5. А.Ф. Галимянов. Архитектура информационных систем / А.Ф. Галимянов Ф.А. Галимянов — Казань, Казан. ун-т, 2019–117 с.
6. ГОСТ Р 57100–2016/ISO/IEC/IEEE 42010:2011 «Системная и программная инженерия. Описание архитектуры».
7. Р. Мартин Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения / Пер. с англ.: А. Киселев. — СПб.: Питер, 2022. — 352 с. — ISBN 978–5–4461–0772–8.
8. Gerald J. Popek, Robert P. Goldberg. Formal Requirements for Virtualizable Third Generation Architectures [Электронный ресурс] URL: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/361011.361073> (дата обращения: 11.01.2023)
9. Семантическое моделирование: обзор процессов, инструментов, методов и знаний предметной области разработки программного обеспечения (Часть 1) / А.Н. Тимофеев, И.С. Евдокимова, Н.Б. Хаптахаева, А.А. Сенотрусова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2022. — № 12. — С. 92–97.
10. ISO/IEC/IEEE 29148:2018 Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering
11. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25051–2017 «Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Требования к качеству готового к использованию программного продукта (RUSP) и инструкции по тестированию»
12. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010–2015 «Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов»
13. ИСО 31000:2018 «Менеджмент риска. Принципы и руководство» (ISO 31000:2018 «Risk management — Guidelines», IDT).
14. Asim M.N., Wasim M., Khan M.U.G., Mahmood W., Abbasi H.M.A survey of ontology learning techniques and applications. Database, 2018. DOI: 10.1093/database/bay101.

© Тимофеев Александр Николаевич (tan@sibdigital.net), Евдокимова Инга Сергеевна (evdinga@gmail.com),

Хаптахаева Наталья Баясхалановна (khapnb@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# О НАХОЖДЕНИИ КЛАССОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ, ИНВАРИАНТНЫХ ОТНОСИТЕЛЬНО ДИСКРЕТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

**Хакимова Зилия Наильевна**

Кандидат физ.— мат. наук, доцент, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского  
vka@mil.ru

## ON FINDING CLASSES OF DIFFERENTIAL EQUATIONS INVARIANT WITH RESPECT TO DISCRETE TRANSFORMATIONS

**Z. Khakimova**

*Summary.* Classes of multiplicative ordinary differential and integro-differential equations containing arbitrary functions are considered.

For the classes of equations under consideration, a discrete group (of the 12th order) of transformations is found that preserves the form of the equations. The possibility of extending this group of transformations with the help of the discrete dihedral group of the 6th order is indicated.

The method of “replenishment” (“extension”) of differential equation classes is applied in the work, with the help of which it is possible to find classes of equations that are invariant with respect to a given discrete transformation.

A method is indicated for obtaining new discrete transformations from those found earlier (by means of lowering and raising the order of differential equations) closed in “extended” classes of equations.

*Keywords:* ordinary differential equation (ODE), integro-differential equation, discrete transformation, discrete transformation group, discrete transformation pseudogroup, dihedral group, exact solution of ODE.

*Аннотация.* Рассматриваются классы мультипликативных обыкновенных дифференциальных и интегро-дифференциальных уравнений, содержащих произвольные функции.

Для рассматриваемых классов уравнений найдена дискретная группа (12-го порядка) преобразований, сохраняющих вид уравнений. Указана возможность расширения этой группы преобразований с помощью дискретной группы диэдра 6-го порядка.

В работе применён метод «пополнения» («расширения») классов дифференциальных уравнений, с помощью которого можно находить классы уравнений, инвариантные относительно данного дискретного преобразования.

Указан метод получения новых дискретных преобразований из найденных ранее (с помощью преобразований понижения и повышения порядка дифференциальных уравнений), замкнутых в «расширенных» классах уравнений.

*Ключевые слова:* обыкновенное дифференциальное уравнение (ОДУ), интегро-дифференциальное уравнение, дискретное преобразование, дискретная группа преобразований, дискретная псевдогруппа преобразований, группа диэдра, точное решение ОДУ.

## Введение

**Д**искретно-групповой анализ (ДГА) обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) был разработан в конце 20-го столетия российским математиком В.Ф. Зайцевым [1].

Основу ДГА составляет поиск дискретных преобразований, замкнутых в рассматриваемых классах уравнений. Далее конструируются дискретные группы и псевдогруппы преобразований, их графы. С помощью метода «размножения» разрешимых случаев в исследуемых классах уравнений по построенным дискретным

группам и псевдогруппам преобразований к настоящему времени получены точные решения тысяч новых уравнений [2].

В.Ф. Зайцев и его научная школа широко использовали идею повышения и понижения порядка дифференциальных уравнений. Был введён термин «RF-пара» («R» = «rise», «F» = «fall») — композиция преобразований последовательного повышения и понижения порядка уравнений.

В представленной статье рассматриваются, во-первых, не только «RF-пары», но и «FR-пары».

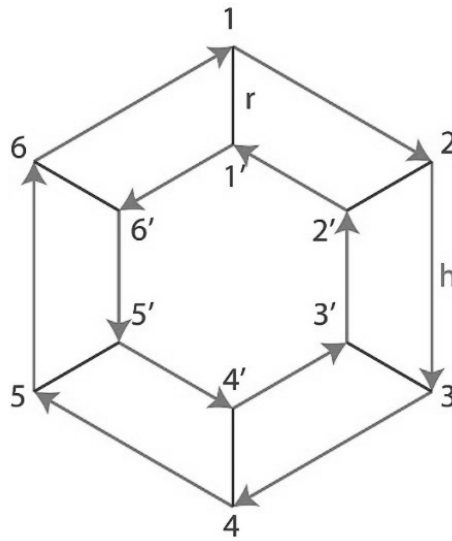


Рис. 1. Граф группы диэдра \$D\_6\$.

Во-вторых, преобразования повышения и понижения порядка уравнений применяются не последовательно: между ними применяется ещё одно из известных преобразований, замкнутых в данном классе ОДУ.

В-третьих, ранее преобразование «понижения» (например, в [1]) не являлось обратным к преобразованию «повышения», так как их композиция являлась бы тождественным преобразованием. В данной работе это стало возможным в силу сказанного в предыдущем абзаце.

Далее, насчёт метода «пополнения» (или «расширения») исходного класса уравнений.

Этот метод впервые был введён и применён автором в работах [3–5] для достижения замкнутости некоторого дискретного преобразования в новом, расширенном, классе уравнений. В данной статье вновь приведены примеры применения указанного метода.

Группа преобразований диэдра 12-го порядка

Рассмотрим мультипликативный класс ОДУ 2-го порядка

$$AK(\alpha)L(\beta)M(\gamma)N(\delta)P(\varepsilon)=1, \quad (1)$$

$$\alpha = x, \beta = y, \gamma = y'_x, \delta = xy'_x - y, \varepsilon = y''_{xx}.$$

В работах [3,4,6] был рассмотрен его подкласс, когда все функции имели степенной вид, а

$$P(\varepsilon) = \frac{1}{\varepsilon}.$$

Для этого «степенного» подкласса

$$\varepsilon = A\alpha^k \beta^l \gamma^m \delta^n \quad (2)$$

(обозначим его с помощью вектора параметров: \$(k, l, m, n | A)\$) в указанных выше работах были найдены точечное \$\mathbf{r}\$ и касательное \$\mathbf{h}\$ преобразования, замкнутые в (2):

$$\mathbf{r}: \alpha \rightarrow \beta, \gamma \rightarrow \frac{1}{\gamma}, \delta \rightarrow -\frac{\delta}{\gamma}, \varepsilon \rightarrow -\frac{\varepsilon}{\gamma^3},$$

$$(k, l, m, n | A) \xrightarrow{\mathbf{r}} (l, k, -m - n + 3, n | (-1)^{n-1} A), \mathbf{r}^2 = \mathbf{E}; \quad (3)$$

$$\mathbf{h}: \alpha \rightarrow \frac{1}{\gamma}, \beta \rightarrow -\frac{\delta}{\gamma}, \gamma \rightarrow \beta, \delta \rightarrow \alpha, \varepsilon \rightarrow -\frac{\gamma^3}{\varepsilon},$$

$$(k, l, m, n | A) \xrightarrow{\mathbf{h}} (n, m, -k - l - 3, l | (-1)^{l-1} A), \mathbf{h}^6 = \mathbf{E}. \quad (4)$$

Применим преобразования (3) и (4) к (1):

$$AK(\alpha)L(\beta)M(\gamma)N(\delta)P(\varepsilon)=1 \xrightarrow{\mathbf{r}} \xrightarrow{\mathbf{r}} AL(\alpha)K(\beta)M\left(\frac{1}{\gamma}\right)N\left(-\frac{\delta}{\gamma}\right)P\left(-\frac{\varepsilon}{\gamma^3}\right)=1, \quad (5)$$

$$AK(\alpha)L(\beta)M(\gamma)N(\delta)P(\varepsilon)=1 \xrightarrow{\mathbf{h}} \xrightarrow{\mathbf{h}} AN(\alpha)M(\beta)K\left(\frac{1}{\gamma}\right)L\left(-\frac{\delta}{\gamma}\right)P\left(-\frac{\gamma^3}{\varepsilon}\right)=1. \quad (6)$$

В 4-м и 5-м сомножителях в (5) и (6) функции \$N\$ и \$P\$ зависят не от \$\delta\$ и \$\varepsilon\$, а от

$$-\frac{\delta}{\gamma} \text{ и } -\frac{\varepsilon}{\gamma^3}, \text{ соответственно, в отличие от (1).}$$

Расширим класс уравнений (1): будем рассматривать мультипликативный класс уравнений вида (1), где

Таблица 1. Уравнения, соответствующие вершинам графа группы  $D_6$

1	$AK(\alpha)L(\beta)M(\gamma)N(\delta)P(\varepsilon) = 1$	1'	$AK(\beta)L(\alpha)M\left(\frac{1}{\gamma}\right)N\left(-\frac{\delta}{\gamma}\right)P\left(-\frac{\varepsilon}{\gamma^3}\right) = 1$
2	$AK\left(\frac{1}{\gamma}\right)L\left(-\frac{\delta}{\gamma}\right)M(\beta)N(\alpha)P\left(-\frac{\gamma^3}{\varepsilon}\right) = 1$	2'	$AK\left(-\frac{\delta}{\gamma}\right)L\left(\frac{1}{\gamma}\right)M\left(\frac{1}{\beta}\right)N\left(-\frac{\alpha}{\beta}\right)P\left(-\frac{\gamma^3}{\beta^3\varepsilon}\right) = 1$
3	$AK\left(\frac{1}{\beta}\right)L\left(-\frac{\alpha}{\beta}\right)M\left(-\frac{\delta}{\gamma}\right)N\left(\frac{1}{\gamma}\right)P\left(\frac{\beta^3\varepsilon}{\gamma^3}\right) = 1$	3'	$AK\left(-\frac{\alpha}{\beta}\right)L\left(\frac{1}{\beta}\right)M\left(-\frac{\gamma}{\delta}\right)N\left(\frac{1}{\delta}\right)P\left(\frac{\beta^3\varepsilon}{\delta^3}\right) = 1$
4	$AK\left(-\frac{\gamma}{\delta}\right)L\left(\frac{1}{\delta}\right)M\left(-\frac{\alpha}{\beta}\right)N\left(\frac{1}{\beta}\right)P\left(\frac{\delta^3}{\beta^3\varepsilon}\right) = 1$	4'	$AK\left(\frac{1}{\delta}\right)L\left(-\frac{\gamma}{\delta}\right)M\left(-\frac{\beta}{\alpha}\right)N\left(\frac{1}{\alpha}\right)P\left(\frac{\delta^3}{\alpha^3\varepsilon}\right) = 1$
5	$AK\left(-\frac{\beta}{\alpha}\right)L\left(\frac{1}{\alpha}\right)M\left(\frac{1}{\delta}\right)N\left(-\frac{\gamma}{\delta}\right)P\left(\frac{\alpha^3\varepsilon}{\delta^3}\right) = 1$	5'	$AK\left(\frac{1}{\alpha}\right)L\left(-\frac{\beta}{\alpha}\right)M(\delta)N(\gamma)P(-\alpha^3\varepsilon) = 1$
6	$AK(\delta)L(\gamma)M\left(\frac{1}{\alpha}\right)N\left(-\frac{\beta}{\alpha}\right)P\left(-\frac{1}{\alpha^3\varepsilon}\right) = 1$	6'	$AK(\gamma)L(\delta)M(\alpha)N(\beta)P\left(\frac{1}{\varepsilon}\right) = 1$

функции  $K, L, M, N, P$  могут зависеть от произведений некоторых целых степеней переменных  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$  (взятых со знаком «+» либо «-»). В новом расширенном классе уравнений преобразования  $\mathbf{r}$  и  $\mathbf{h}$  становятся замкнутыми.

Преобразования  $\mathbf{r}$  и  $\mathbf{h}$  являются образующими группы преобразований диэдра 12-го порядка

$$D_6 = \{\mathbf{E}, \mathbf{h}, \mathbf{h}^2, \mathbf{h}^3, \mathbf{h}^4, \mathbf{h}^5, \mathbf{r}, \mathbf{hr}, \mathbf{h}^2\mathbf{r}, \mathbf{h}^3\mathbf{r}, \mathbf{h}^4\mathbf{r}, \mathbf{h}^5\mathbf{r}\}, \quad (7)$$

имеющей код [7]:  $\mathbf{r}^2 = \mathbf{h}^6 = (\mathbf{hr})^2 = \mathbf{E}$  ( $\mathbf{E}$  — тождественное преобразование).

Граф группы  $D_6$  изображён на рис. 1.

Дуги графа обозначают преобразования группы  $D_6$  (7), а вершины 1, ..., 6, 1', ..., 6' — соответствующие уравнения, помещённые в таблицу 1.

Преобразования понижения и повышения порядка.  
Инвариантные классы уравнений

Общеизвестными являются случаи понижения порядка ОДУ, когда уравнения не содержат переменную  $y$  или  $x$ .

В 1-м случае делается подстановка

$$y'(x) = u(x), \quad (8)$$

во 2-м —

$$y'(x) = u(y). \quad (9)$$

1. «Понижающее» преобразование (8) можно записать следующим образом:

$$\mathbf{p}_1: \quad x \rightarrow x, y \rightarrow \int y dx, y'_x \rightarrow y, xy'_x - y \rightarrow xy - \int y dx, y''_{xx} \rightarrow y'_x, xy''_{xx} - y'_x \rightarrow xy'_x - y, y'''_{xxx} \rightarrow y''_{xx}. \quad (10)$$

Обратное к нему преобразование повышения порядка имеет вид:

$$\mathbf{p}_1^{-1}: \quad x \rightarrow x, \int y dx \rightarrow y, y \rightarrow y'_x, y'_x \rightarrow y''_{xx}, xy'_x - y \rightarrow xy''_{xx} - y'_x, y''_{xx} \rightarrow y'''_{xxx}, xy''_{xx} - y'_x \rightarrow xy'''_{xxx} - y''_{xx}. \quad (11)$$

Композиция (10), преобразования  $\mathbf{r}$  и (11), как оказалось, является известным преобразованием Лежандра (заметим, что  $\mathbf{l} = \mathbf{hr}$ ):

$$\mathbf{l} = \mathbf{p}_1\mathbf{r}\mathbf{p}_1^{-1}: \quad x \square y'_x, y \square xy'_x - y, y''_{xx} \square \frac{1}{y''_{xx}}, xy''_{xx} - y'_x \rightarrow -\frac{xy''_{xx} - y'_x}{y'_x}, \mathbf{l}^2 = \mathbf{E}.$$

Преобразование Лежандра  $\mathbf{l}$  оказалось замкнутым в классе уравнений (1), см. формулу (12).

$$AK(\alpha)L(\beta)M(\gamma)N(\delta)P(\varepsilon)=1 \xrightarrow{1} \\ \xrightarrow{1} AM(\alpha)N(\beta)K(\gamma)L(\delta)P\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)=1 \quad (12)$$

$$AK(\alpha)L(\beta)M(\gamma)N(\delta)P(\varepsilon)=1 \xrightarrow{1^*} \\ \xrightarrow{1} AK\left(\int ydx\right)L\left(\frac{1}{y}\right)M\left(-\frac{y'_x}{y^3}\right)N\left(-\frac{\int ydx \cdot y'_x + y^2}{y^3}\right)P\left(-\frac{yy''_{xx} - 3(y')^2}{y^5}\right)=1 \quad (12.1)$$

$$AK(\alpha)R(\theta)L(\beta)M(\gamma)S(\zeta)N(\delta)P(\varepsilon)Q(\eta)=1 \xrightarrow{1^*} \\ \xrightarrow{1^*} AK(\theta)R(\alpha)L\left(\frac{1}{\beta}\right)M\left(-\frac{\gamma}{\beta^3}\right)S\left(-\frac{\delta}{\beta^3}\right)N\left(-\frac{\zeta}{\beta^3}\right)P\left(-\frac{\eta}{\beta^5}\right)Q\left(-\frac{\varepsilon}{\beta^5}\right)=1, \\ 1^*: \alpha \square \theta, \beta \rightarrow \frac{1}{\beta}, \gamma \rightarrow -\frac{\gamma}{\beta^3}, \zeta \rightarrow -\frac{\delta}{\beta^3}, \\ \delta \rightarrow -\frac{\zeta}{\beta^3}, \varepsilon \rightarrow -\frac{\eta}{\beta^5}, \eta \rightarrow -\frac{\varepsilon}{\beta^5}, (1^*)^2 = E, \quad (13)$$

где  $\alpha = x, \theta = \int ydx, \beta = y, \gamma = y'_x, \zeta = \int ydx \cdot y'_x + y^2, \delta = xy'_x - y, \varepsilon = y''_{xx}, \eta = yy''_{xx} - 3(y'_x)^2$ .

Если же записать преобразования в обратном порядке, то их композиция  $1^* = \mathbf{p}_1^{-1}\mathbf{r}\mathbf{p}_1$  не будет замкнутой в классе уравнений (1), см. формулу (12.1).

Для достижения замкнутости преобразования  $1^*$  в исходном классе уравнений необходимо в (1) добавить три сомножителя — функции  $R(\theta), S(\zeta), Q(\eta)$  от следующих переменных:

$$\theta = \int ydx, \zeta = \int ydx \cdot y'_x + y^2, \eta = yy''_{xx} - 3(y'_x)^2.$$

В результате получаем расширенный класс уравнений, инвариантный относительно преобразования  $1^*$ , см. формулу (13).

Заметим, что при  $R, S \neq 1$  исходное уравнение в (13) является интегро-дифференциальным, а при  $K, N \neq 1$  — соответственно преобразованное уравнение.

2. «Понижающее» преобразование (9) можно записать таким образом:

$$\mathbf{p}_2: x \rightarrow \int \frac{dx}{y}, y \rightarrow x, y'_x \rightarrow y, xy'_x - y \rightarrow \int \frac{dx}{y} y - x, y''_{xx} \rightarrow yy'_x.$$

Обратное к нему, «повышающее», преобразование выглядит следующим образом:

$$\mathbf{p}_2^{-1}: x \rightarrow y, y \rightarrow y'_x, y'_x \rightarrow \frac{y''_{xx}}{y'_x}, \\ xy'_x - y \rightarrow \frac{yy''_{xx} - (y'_x)^2}{(y'_x)^2}, y''_{xx} \rightarrow \frac{y'_x y'''_{xxx} - (y''_{xx})^2}{(y'_x)^3}.$$

3. Аналогично предыдущему, можно рассмотреть композиции преобразований  $\mathbf{p}_2\mathbf{r}\mathbf{p}_2^{-1}$  и  $\mathbf{p}_2^{-1}\mathbf{r}\mathbf{p}_2, \mathbf{p}_1\mathbf{r}\mathbf{p}_2^{-1}$  и  $\mathbf{p}_2\mathbf{r}\mathbf{p}_1^{-1}, \mathbf{p}_1^{-1}\mathbf{r}\mathbf{p}_2$  и  $\mathbf{p}_2^{-1}\mathbf{r}\mathbf{p}_1$ .

Кроме того, можно рассмотреть аналогичные композиции преобразований, где вместо  $\mathbf{r}$  записано преобразование  $\mathbf{h}$ . Таким образом, можно рассмотреть 16 композиций. Не все из них допустимы, так как не всегда выполняются условия «стыковки» трёх преобразований, входящих в эти композиции.

Если предположить, что все композиции существуют, то

$$(\mathbf{p}_i\mathbf{r}\mathbf{p}_i^{-1})^2 = (\mathbf{p}_i^{-1}\mathbf{r}\mathbf{p}_i)^2 = E, (\mathbf{p}_i\mathbf{h}\mathbf{p}_i^{-1})^2 = (\mathbf{p}_i^{-1}\mathbf{h}\mathbf{p}_i)^2 = E,$$

$i = 1, 2$ , т.е. эти 8 преобразований, так же как  $\mathbf{r}$  и  $\mathbf{h}$ , являются образующими циклических групп 2-го и 6-го порядков соответственно.

Далее,  $\mathbf{p}_1 \mathbf{r} \mathbf{p}_2^{-1}$  и  $\mathbf{p}_2 \mathbf{r} \mathbf{p}_1^{-1}$ , а также  $\mathbf{p}_1^{-1} \mathbf{r} \mathbf{p}_2$  и  $\mathbf{p}_2^{-1} \mathbf{r} \mathbf{p}_1$  являются взаимно обратными.

4. Аналогично п.1 и п.2, для всех приведённых выше композиций преобразований, имеющих смысл, можно найти классы уравнений, в которых эти композиции преобразований действуют. Затем можно построить расширенные классы уравнений, инвариантные относительно данных композиций. Этого можно достигнуть, пополнив исходные классы уравнений недостающими сомножителями так, чтобы данные композиции преобразований оказались замкнутыми в новых расширенных классах уравнений.

Разрешимые подклассы уравнений.  
Упрощение классов уравнений

1. Если в классе уравнений (1) принять  $K = L = P \equiv 1$ , то получится уравнение Клеро.

Причём, преобразование  $\mathbf{I}$  для него является интегрирующим:

$$AM(\gamma)N(\delta) = 1 \xrightarrow{\mathbf{I}} AM(\alpha)N(\beta) = 1$$

$$(\alpha = x, \beta = y, \gamma = y'_x, \delta = xy'_x - y), \tag{14}$$

так как преобразованное уравнение в (14) не содержит производных.

2. Пусть в (13)  $K = N \equiv 1$ , тогда в результате преобразования  $\mathbf{I}^*$  исходный класс интегро-дифференциальных уравнений переходит в класс просто дифференциальных уравнений. Если при этом ещё  $P \equiv 1$ , то преобразованный класс уравнений упростится — будет зависеть не от

$$y''_{xx} - 3(y'_x)^2, \text{ а просто от } y''_{xx}.$$

3. Разрешимые подклассы уравнений можно «размножить» с помощью преобразований группы диэдра  $D_6$ . Так что, кроме исходного разрешимого подкласса уравнений, получаются ещё 11 разрешимых подклассов.

4. Разрешимыми подклассами класса уравнений (1) являются, в частности, подклассы уравнений:

- 1) при  $L = N \equiv 1$ : в уравнения не входит  $y$ ;
- 2) при  $K = N \equiv 1$ : уравнения не содержат  $x$ .

Эти разрешимые случаи «размножаются» по группе 12-го порядка  $D_6(7)$ .

Расширение группы преобразований  $D_6$  с помощью  $D_3$

Для подкласса уравнений при  $N \equiv 1$  класса уравнений (1) была найдена дискретная группа диэдра  $D_3$  (6-го порядка) преобразований, замкнутых в этом подклассе уравнений [8].

Поэтому группа преобразований  $D_6$  допускает расширение с помощью  $D_3$  при  $L = N \equiv 1$  либо  $K = N \equiv 1$ . Таким образом, разрешимые случаи при  $K = N \equiv 1$  и  $L = N \equiv 1$  «размножаются» не только по группе  $D_6$ , но и по группе  $D_3$ .

В работе [9] рассмотрен частный случай при  $L = N \equiv 1$  либо  $K = N \equiv 1$ , когда остальные функции в (1) являются степенными. В этом случае получился разрешимый граф  $\infty$ -го порядка, состоящий из графов групп  $D_6$  и  $D_3$ . Причём, чем дальше будем двигаться по графу от вершины, соответствующей исходному уравнению, тем более нетривиальные уравнения будем получать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев В.Ф. Справочник по нелинейным дифференциальным уравнениям. Приложения в механике, точные решения / В.Ф. Зайцев, А.Д. Полянин — М.: Наука, 1993. — 464 с.
2. Polyanin A.D. Handbook of Ordinary Differential Equations: Exact Solutions, Methods, and Problems / A.D. Polyanin, V.F. Zaitsev. — CRC Press. Boca Raton — London, 2018. — 1496 p. DOI: 10.1201/9781315117638
3. Хакимова З.Н. Классификация новых разрешимых случаев в классе полиномиальных дифференциальных уравнений / З.Н. Хакимова, О.В. Зайцев // Актуальные вопросы современной науки, № 3. — СПб., 2014. — С. 3–11.
4. Хакимова З.Н. Выбор класса дифференциальных уравнений для нахождения новых разрешимых случаев / З.Н. Хакимова // Некоторые актуальные проблемы современной математики и математического образования: материалы научной конференции «Герценовские чтения — 2017». — СПб.: РГПУ, 2017. — С. 112–117.
5. Khakimova Z.N. The replenishment method and new solvable cases of third-order nonlinear differential equations of Emden-Fowler type // 7th International conference «Problems of Mathematical Physics and Mathematical Modeling»: Book of Abstract». — Moscow: NRNU MEPhI, 2019. — pp. 49–51.

6. Зайцев О.В. О дискретных симметриях и новых разрешимых случаях в классе полиномиальных дифференциальных уравнений / О.В. Зайцев // Наука XXI века: новый подход. Материалы IX молодежной международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. — СПб.: Научно-издательский центр "Открытие", 2014. — С. 8–16.
7. Coxeter H.S.M. Generators and Relations for Discrete Groups / H.S.M. Coxeter, W.O.J. Moser. — New York, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1972. — 164 p. DOI: 10.1007/978-3-662-21946-1
8. Зайцев В.Ф. Дискретно-групповой метод интегрирования уравнений нелинейной механики / В.Ф. Зайцев, А.Д. Полянин. — М.: Препринт ИЛМ АН СССР, 1988. — № 339. — 44с.
9. Хакимова З.Н. Дифференциальные уравнения степенного вида, интегрируемые в полиномах / З.Н. Хакимова // Некоторые актуальные проблемы современной математики и математического образования: материалы научной конференции «Герценовские чтения — 2019». — СПб.: РГПУ, 2019. — С. 97–101.

© Хакимова Зиля Наильевна (vka@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

# РАСПОЗНАВАНИЕ ВИДА МОДУЛЯЦИИ ИМПУЛЬСНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В СРЕДСТВАХ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

**Царик Дмитрий Владимирович**

Директор по созданию средств радиопеленгования,  
ООО «Специальный технологический центр», г. Санкт-Петербург  
dvtzar@gmail.com

## RECOGNITION OF THE TYPE OF MODULATION OF THE PULSE SEQUENCE IN THE MEANS OF RADIO ENGINEERING CONTROL

**D. Tsarik**

*Summary.* An improved algorithm for recognizing the type of modulation of the pulse sequence in radio engineering control (RTC) is proposed, based on the selection of a set of informative features from the input radio signal, which characterizes the law of change in the pulse repetition intervals. The algorithm includes two stages: dividing the input radio signal into categories and deciding on the type of modulation in a certain space of informative features, which makes it possible to generally take into account the uncertainty of the input information and identify multifunctional radiation sources with a pulse repetition period (PRP) that varies in time randomly. It is shown that the proposed features provide recognition of the type of PTP modulation under conditions of distortion of the original sample by random disturbances.

*Keywords:* radio engineering control, recognition of the type of pulse sequence modulation, radar systems.

*Аннотация.* Предложен усовершенствованный алгоритм распознавания вида модуляции импульсной последовательности в средствах радиотехнического контроля (РТК), основанный на выделении из входного радиосигнала набора информативных признаков, характеризующий закон изменения интервалов следования импульсов. Алгоритм включает в себя два этапа: разделение входного радиосигнала на категории и принятие решение о виде модуляции в определенном пространстве информативных признаков, что позволяет в целом учитывать неопределенность входной информации и выявлять multifunctional источники излучения с периодом повторения импульсов (ППИ), изменяемым во времени случайным образом. Показано, что предложенные признаки обеспечивают распознавание вида модуляции ППИ в условиях искажения исходной выборки случайными возмущениями.

*Ключевые слова:* радиотехнический контроль, распознавание вида модуляции импульсной последовательности, радиолокационные системы.

## Введение

**В** последние годы наметилась устойчивая тенденция по созданию multifunctional радиолокационных систем (РЛС) как военного так и гражданского назначения, обеспечивающие выполнение одновременно нескольких задач путем использования сложных, динамически изменяемых по программе излучений [10, с.228]. Данное обстоятельство представляет одну из проблем для радиотехнических средств, осуществляющие их распознавания (определения типа РЛС).

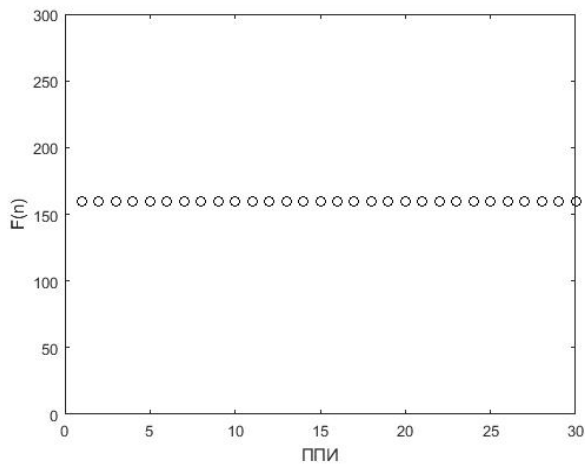
Из всех анализируемых параметров наибольшую информативность в смысле определения типа РЛС имеет закон изменения ППИ (вид модуляции импульсной последовательности)  $F(n)$ .

Известные методы распознавания вида модуляции основаны на использовании гистограммы разностей

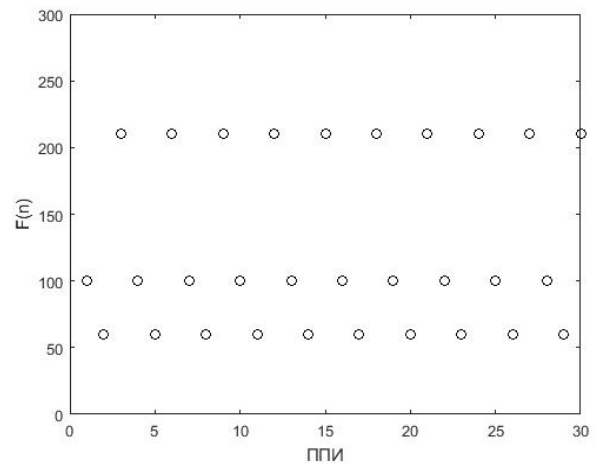
времен прихода импульсов (ВПИ) [1], и так называемой гистограммы Нельсона [8, 10]. Главным недостатком техники гистограммного анализа является сильная зависимость формы гистограммы от числа анализируемых импульсов и уровня перемешивания последовательностей принадлежащих разным РЛС. Предложенный в [1, 8] подход основывается на обнаружении пика гистограммы, представляющего собой частоту присутствия определенных интервалов в исходной последовательности. Принятие решения происходит путем сравнения пика с заданным порогом. Имеется модификация алгоритма построения гистограммы разностей ВПИ [3]. Суть модификации заключается в последовательном построении многоуровневой гистограммы  $d$ -го порядка, т.е. частот появления следующих интервалов  $x_k^{(d)} = t_{k+d} - t_k, k = 1, 2, \dots, N - d$ .

Основное ограничение метода обнаружения последовательности по гистограмме, что он главным образом, предназначен для распознавания простых после-

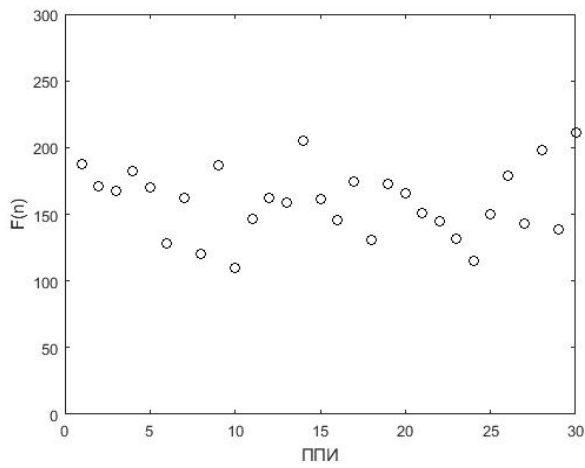




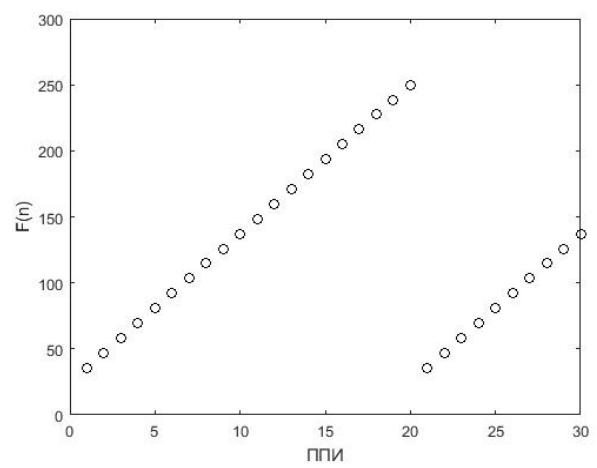
а)



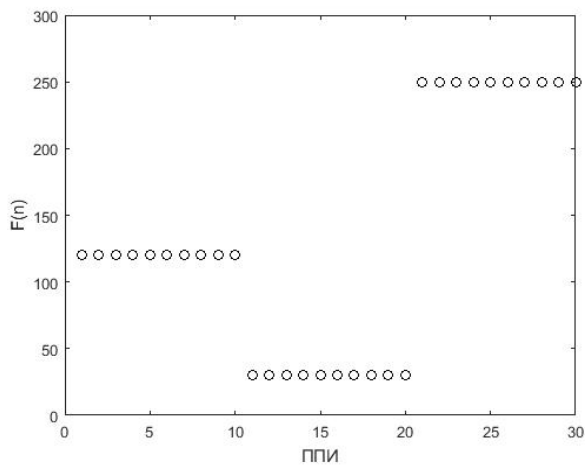
б)



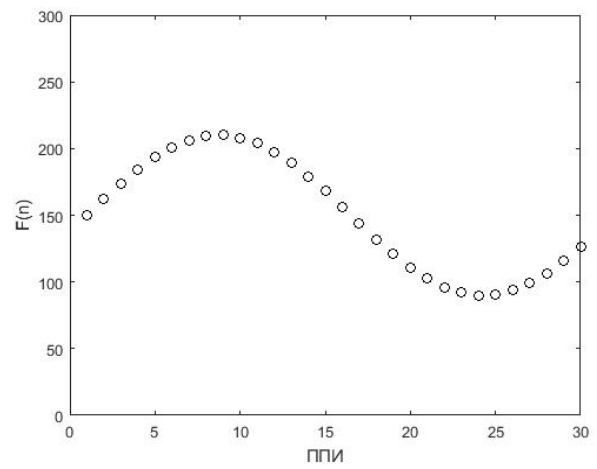
в)



г)



д)



е)

Рис. 1. Основные виды (классы) межимпульсной модуляции: а) Const-ППИ; б) Stagger-ППИ; в) Jitter-ППИ; г) Sliding-ППИ; д) D&S-ППИ; е) Periodic-ППИ

довательностей и не учитывает более сложные виды модуляций. Вторым недостатком — требование выбора порога, который сильно зависит от числа дефектов (возмущений) в исходном сигнале (пропуски отдельных импульсов и наличие ложных).

Для преодоления недостатков присущих методу гистограммы были предложены подходы, основанные на учете порядковой информации о межимпульсных интервалах. Так в [4, 7] используется автокорреляционный способ выделения признаков для распознавания отдельных видов модуляции. Однако, вследствие чувствительности признаков к наличию дефектов в анализируемой последовательности, операция выделения признаков должна предшествовать операции устранения дефектов. На практике это не всегда удается сделать. В работе [5] для решения задачи распознавания вида модуляции предложено использовать  $N$  размерный вектор разностей ВПИ. Главный недостаток данного описания, что оно не инвариантно к изменению параметров модуляции ППИ. Более гибкая модель описания приведена в [6]. Здесь уменьшено число признаков до двух. Показано, что они обеспечивают лучшую достоверность распознавания в сложной радиоэлектронной обстановке (РЭО), но их различительные способности все еще ограничены.

Цель статьи — разработка усовершенствованного алгоритма распознавания вида модуляции импульсной последовательности, отличающегося большей достоверностью в условиях приема искаженных излучений и неоднозначных измерений, вызванных случайным пропаданием или появлением ложных импульсов, а также динамично изменяющейся РЭО.

Виды функциональной зависимости между интервалами следования импульсов. В общем случае закон модуляции  $F(n)$  может быть описан следующим образом

$$F(n) = t_{n+1} - t_n = x(n), \quad n = 1, 2, \dots, N - 1, \quad (1)$$

где  $t_n$  — время прихода  $n$ -го импульса,  $x(n)$  —  $n$ -ый межимпульсный интервал,  $N$  — число импульсов в анализируемой последовательности.

Проведенный в [2, с.23–35] анализ сигналов современных РЛС позволил выделить три наиболее часто используемых класса излучений с модуляцией по ППИ: простой (Const-ППИ), регулярный (Stagger-ППИ) и вобулирующие (в том числе по случайному закону): Jitter-ППИ, D&S-ППИ, Sliding-ППИ, Periodic-ППИ. Ниже приведены формулы, описывающие, упомянутые классы:

$$\text{Const-ППИ: } F(n) = \text{ППИ}_0 + \delta_c(n),$$

$$\text{Jitter-ППИ: } F(n) = \text{ППИ}_0 + \delta_j(n),$$

$$\text{D\&S-ППИ: } F(n) = \begin{cases} \text{ППИ}_1 & n = 1, 2, \dots, N_1 \\ \text{ППИ}_2 & n = N_1 + 1, \dots, N_1 + N_2 \\ \dots & \dots \\ \text{ППИ}_m & n = N_{m-1} + 1, \dots, N_{m-1} + N_m \end{cases},$$

$$\text{Sliding-ППИ: } F(n) = \text{ППИ}_{\min} + k \cdot [(n-1) \bmod M], \quad n = 1, 2, \dots, N,$$

$$\text{Periodic-ППИ: } F(n) = \text{ППИ}_0 + A \sin(\omega n + \varphi),$$

$$\text{Stagger-ППИ: } F(i + k_s M_s) = F(i), \quad i = 1, 2, \dots, M_s, \quad k_s = 1, 2, \dots, T, \quad N = M_s T,$$

где  $\text{ППИ}_0$  — среднее значение периода повторения импульсов,  $\delta_c, \delta_j$  — величина вобуляции ППИ относительно среднего значения,  $m$  — число пачек импульсов в последовательности,  $N$  — число импульсов в последовательности,  $N_1, \dots, N_m$  — число импульсов в соответствующей пачке данной последовательности,  $\text{ППИ}_1, \dots, \text{ППИ}_m$  — период повторения импульсов в пачке  $1, \dots, m$  соответственно,  $k$  — коэффициент, характеризующий наклон (скорость) функции монотонного возрастания или убывания интервалов следования импульсов от начального значения  $\text{ППИ}_{\min} M$  — число импульсов на интервале возрастания (убывания) ППИ,  $A$  — амплитуда модуляции,  $\omega, \varphi$  — частота и фаза модуляции,  $M_s$  — число интервалов на одном определенном периоде (фрейме),  $T$  — число фреймов в последовательности.

Примеры функциональной зависимости между интервалами следования импульсов сигналов РЛС приведены на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1 для каждого вида межимпульсной модуляции характерны свои особенности. При постоянной (Const-ППИ) пиковые значения ППИ составляют не более 1% от его среднего значения, напротив, при случайной модуляции (класс Jitter-ППИ) они могут достигать 30%.

В последовательности с D&S-ППИ имеются  $m$  четко выраженных промежутков (пачек импульсов) с постоянными ППИ, причем ППИ от пачки к пачки переключается на другое значения из заданного списка, образуя тем самым повторяющиеся кадры (фреймы).

Последовательность с Stagger-ППИ использует два и более интервалов, выбираемых из определенного списка и которые повторяются через период, равный сумме используемых интервалов. Число интервалов, образующих один период (фрейм) может достигать 32. Отметим, что отдельные интервалы могут появляться более, чем один раз за период.

Последовательность с монотонным изменением ППИ (Sliding-ППИ) характеризуется монотонным уве-

личением или уменьшением следующих друг за другом интервалов в заданных пределах. Данный вид модуляции, как правило, имеет периодическую структуру, т.е. после достижения одной границы диапазона изменения интервала происходит переход к другой.

Последовательность с изменением ППИ по синусоидальному или треугольному закону (Periodic-ППИ) характеризуется большим, по сравнению с Sliding-ППИ сигналом, периодом вобуляции. Он имеет, как правило, небольшой диапазон изменения ППИ (5% от среднего значения) на интервале (периоде) примерно равным 200 мс.

Описанные выше особенности будут положены в основу построения набора признаков при описании функции  $F(n)$ .

Признаки для описания вида модуляции ППИ. Выделение признаков является одной из основных задач при распознавание типа РЛС, поскольку от нее зависит точность и достоверность принятия решения. Вследствие уникальности характеристик закона модуляции, их информативность может быть потеряна на этапе предварительной обработки. Задача состоит в том, чтобы описать анализируемую последовательность исключив потерю информации перед этапом распознавания. Признаки для распознавания должны быть толерантными к большому числу дефектов в анализируемой последовательности, включая неточности в измерение времени прихода импульсов. Кроме того признаки должны быть робастными к вариациям параметров модуляции ППИ.

На основе анализа существующих подходов к описанию вида модуляции ППИ выбраны две группы признаков, получаемые на базе гистограмм [1, 8] и разностей ППИ 1-го порядка [3].

Вид функции  $F(n)$  для регулярных последовательностей вида Const и Stagger будем описывать с использованием первой группы признаков ( $f_1, f_2$ ), а для Jitter, D&S, Sliding и Periodic последовательностей с использованием второй группы ( $f_3, f_4, f_5$ ).

Первый признак  $f_1$  представим как значение максимального пика гистограммы, вычисляемой как

$$f_1 = n^{\max}, \quad (2)$$

где  $n^{\max}$  — максимальное значение  $n$ -го разряда данной гистограммы.

Величина  $f_1$  порядка  $T/n$  указывает на последовательность вида Const или Stagger, где  $T$  — ППИ.

Известно, что для обнаружения Stagger сигнала с использованием гистограммы разностей ВПИ требуется выделить  $M$  непересекающихся во времени последовательностей с одинаковыми значениями ППИ, составляющих фрейм (период вобуляции) сигнала [3]. Учитывая это, второй признак определим следующим образом

$$u_d = n_d^{\max} / (N - d - 1) \quad (3)$$

где  $n_d^{\max}$  — наивысший пик на гистограмме разностей ВПИ. Так как, число позиций в сигнале с модуляцией вида Stagger в общем неизвестно, необходимо вычислить значение  $u_d$  для нескольких уровней гистограммы и определить максимум. Второй признак представим так

$$f_2 = \max(u_d), \quad d = 1, 2, 3, \dots, D_{\max}, \quad (4)$$

где  $D_{\max}$  — выбирается в соответствии с предположением о наибольшем числе позиций в сигнале с модуляцией вида Stagger.

Здесь число уровней есть ни что иное как число интервалов, повторяющихся через время  $t$ , равное их сумме и которое является признаком данного вида последовательности.

Для описания признаков второй группы  $f_3, f_5$  введем в рассмотрение разности ППИ первого порядка вида

$$D(n) = F(n+1) - F(n). \quad (5)$$

Здесь, как и ранее

$$F(n) = t_{n+1} - t_n = x(n), \quad n = 1, 2, \dots, N - 1,$$

$t_n$  — время прихода  $n$ -го импульса,  $x(n)$  —  $n$ -ый межимпульсный интервал,  $N$ -число импульсов в анализируемой последовательности.

**Третий признак  $f_3$ .** Из рисунка 1в видно, что последовательность с Jitter-ППИ имеет наибольшее количество локальных максимумов и отличается от других видов модуляции сложностью структуры. Учитывая это признак для данного вида модуляции можно описать так

$$f_3 = \frac{\text{Num}(D(n) \cdot D(n+1) < 0)}{N - 1}, \quad (6)$$

где Num( $\cdot$ ) — обозначает число раз, при котором выполняется условие в круглых скобках.

**Четвертый признак  $f_4$ .** Ранее было отмечено, что значение интервала следования импульсов в последова-

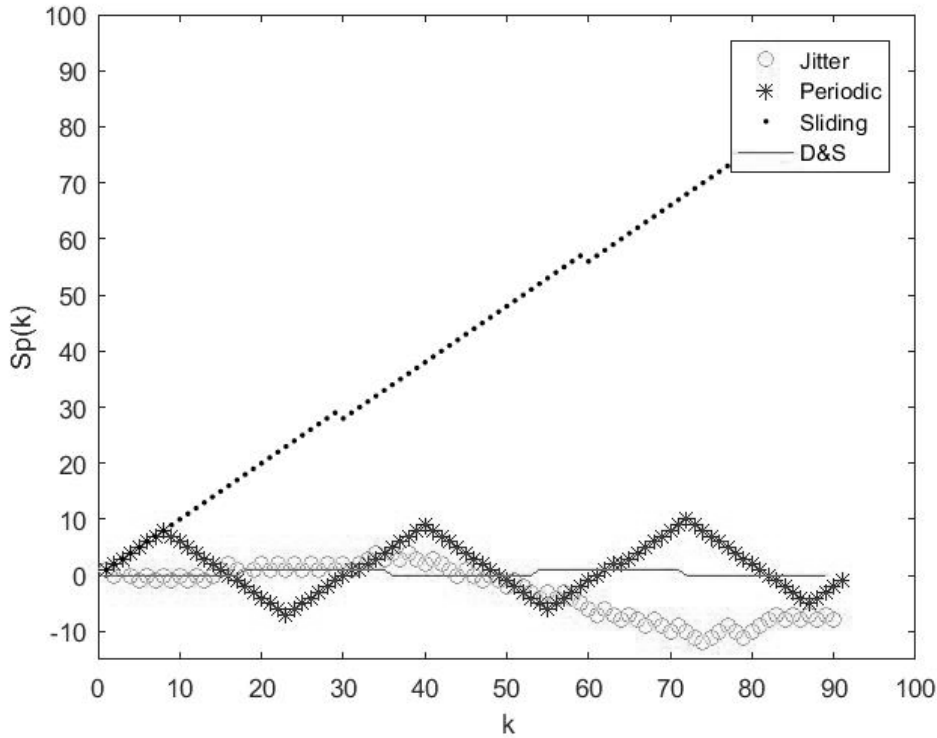


Рис. 2. Внешний вид кривой Sp(k)

тельности с D&S-модуляцией изменяется только при переключении на режим излучения новой пачки импульсов, тогда как последовательности с другими видами модуляции перестраивают ППИ непрерывно в дискретные моменты времени. Поэтому если вычислить разности вида (5), то в образовавшемся ряду значений  $D(n)$  будут только несколько ненулевых элементов для последовательности с D&S-модуляцией в отличие от других. Данную особенность можно выразить в виде следующей формулы

$$f_4 = \sum_{n=1}^{N-1} s^2(n) / (N-1) \tag{7}$$

где  $s_\varepsilon(x)$  — сигнум-функция, определяемая как

$$s_\varepsilon(x) = \begin{cases} -1, & \text{при } x < -\varepsilon \\ 0, & \text{при } |x| \leq \varepsilon \\ 1, & \text{при } x > \varepsilon \end{cases} \tag{8}$$

$\varepsilon$  — малая величина порядка 10–100 нс, задающая границу стабильного интервала

**Пятый признак  $f_5$ .** Пусть определена функция вида

$$Sp(k) = \sum_{n=1}^k s(n) / (N-1), \quad k = 1, 2, \dots, N-1. \tag{9}$$

Построим график данной функции для последовательностей с рассматриваемыми видами модуляции. Результат показан на рисунке 2

Как следует из рисунка 2, форма кривой для последовательности с Sliding-модуляцией близка к диагональной линии, тогда как кривые с другими модуляциями имеют форму горизонтальной (с небольшими отклонениями от оси абсцисс) линии. Данную особенность можно описать с помощью следующего признака

$$f_5 = \frac{\left| \sum_{k=1}^{N-1} Sp(k)t(k) \right|}{\sum_{k=1}^{N-1} t^2(k)}, \quad t(k) = \begin{cases} k, & k \geq 0 \\ 0, & k < 0 \end{cases} \tag{10}$$

Здесь  $t(k)$  — линейно нарастающая функция. Поскольку кривая  $Sp$  для модуляции вида Sliding имеет наибольшую степень подобия к функции  $t(k)$ , то значение  $f_5$  близко к единице, а для других видов модуляции  $f_5$  — малая величина. Таким образом, данный признак позволяет отличить последовательность с Sliding-ППИ от последовательности с Periodic-ППИ.

Путем проведения имитационного моделирование в среде Matlab установлены диапазоны значений пред-

Таблица 1. Диапазоны значений признаков  $f_3$ - $f_4$

Признак	Значение	Вид модуляции по ППИ
$f_3$	0.6–0.8	Jittered-ППИ
$f_4$	0.1–0.4	Dwell&Switch-ППИ
$f_5$	0.7–0.9	Sliding-ППИ
$f_5$	0.1–0.4	Periodic-ППИ

Таблица 2. Параметры моделируемых последовательностей

№	Вид вобуляции	Амплитуда вобуляции относительно среднего значения	Примечание
1	Jitter-ППИ	5–30%	Закон изменения ППИ: Гаусса, равномерный
2	D&S-ППИ	5–30%	Число импульсов в пачке 10–50
3	Sliding-ППИ	30–80%	Число интервалов на период вобуляции: 10–30
4	Periodic-ППИ	5–30%	Число интервалов на период вобуляции: 20–50

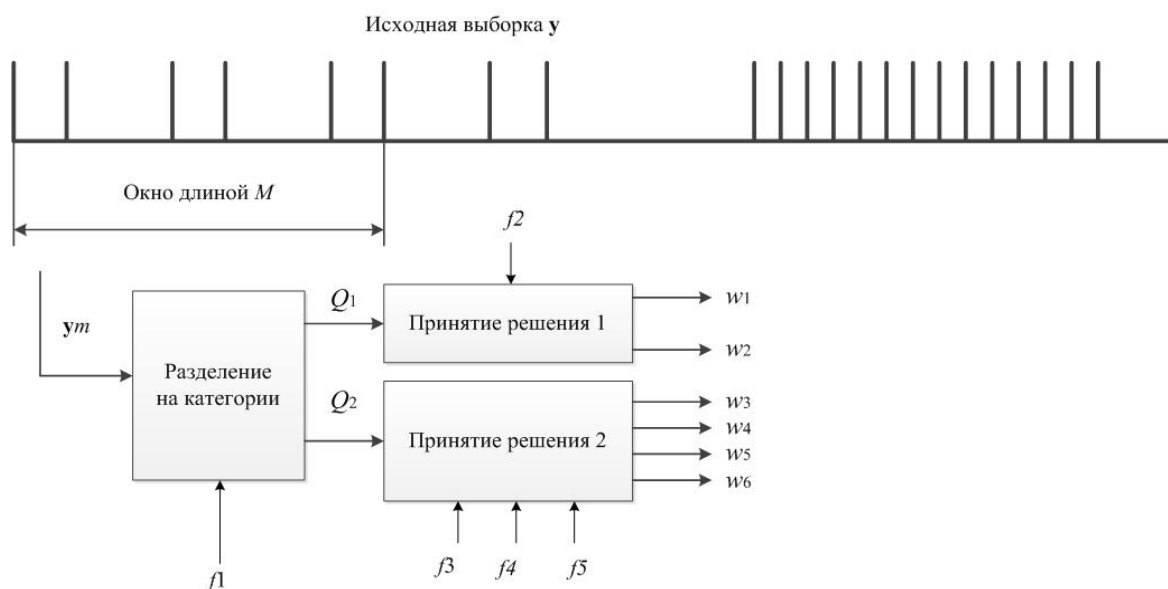


Рис. 3. Обобщенная структурная схема распознавания вида модуляции импульсной последовательности

ложенных признаков для сигналов РЛС с разными видами модуляции, таблица 1.

Параметры моделируемых последовательностей приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы 1 предложенные признаки обеспечивают межклассовую различимость и компактность схожих между собой последовательностей с соответствующими видами модуляции по ППИ.

Описание алгоритма распознавание вида модуляции импульсных последовательностей. Алгоритм

распознавание основан на использование «окна обработки» — одномерной области, охватывающей конечное множество отсчетов ВПИ исходной выборки  $y$ . В процессе обработки это окно смещается по выборке, т.е. является «скользящим». Для каждого  $n$ -положения окна по содержащимся в нем входным отсчетам  $y_n$  принимается решение о виде модуляции ППИ. Принятие решение осуществляется в два этапа, включающее в себя грубое и точное распознавание, рисунок 3.

На первом этапе осуществляется обнаружение в исходной выборке последовательности, принадлежащей к одной из двух категорий с использованием признака

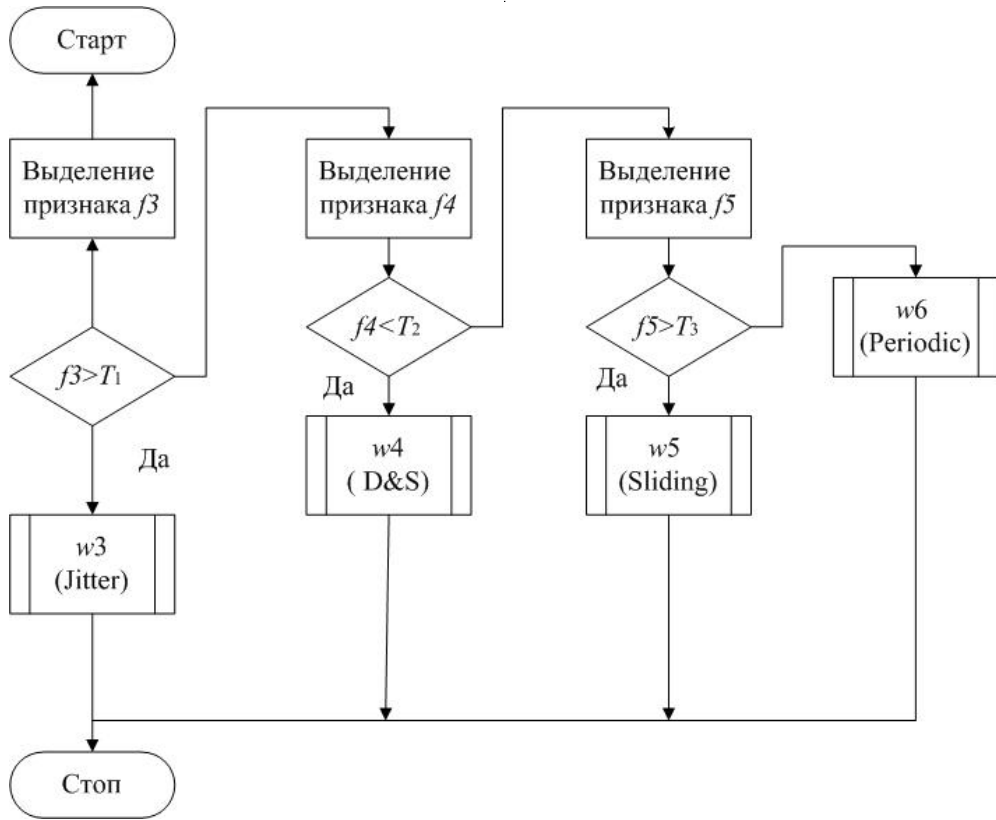


Рис. 4. Алгоритм распознавания вида модуляции на основе признаков  $f_3, f_4, f_5$

$f_i$ : категория 1 (Const, Stagger); категория 2 (Jitter, Sliding, D&S, Periodic). Обозначим соответствующие категории в соответствие с их индексами как

$$\theta_i, \quad i \in \{1, 2\}.$$

На втором этапе принимается решение о принадлежности анализируемой импульсной последовательности к одному из шести видов модуляции ППИ:

$$w_i, \quad i \in \{1, 2, \dots, 6\} \equiv$$

$$\equiv \{\text{Const, Stagger, Jitter, Sliding, D\&S, Periodic}\}.$$

При этом, если на первом этапе выявлена категория  $Q_i$  решение принимается на основе признака  $f_2$ , в противном случае применяются признаки  $f_3$ - $f_5$ .

Двухэтапная схема распознавания по сути уменьшает размерность пространства решений до двух классов, каждый из которых включает в себя два и четыре подкласса соответственно.

Разделение исходной выборки  $y_n$  на категории проводится путем сравнения признака  $f_i$  с порогом  $T_a$  по правилу

" $y_n \in Q_1$ , если  $f_i > T_a$ , иначе —  $y_n \in Q_2$ ".

Порог  $T_a$  определяется по формуле

$$\Phi(\tau) = \alpha \frac{T_i}{\tau},$$

где  $T_n$  — интервал наблюдения исходной выборки (сигнала),  $\tau$  — значение разряда гистограммы,  $\alpha$  — настраиваемый параметр.

Окончательное принятие решение проводится на втором этапе с использованием признаков  $f_2$  или  $f_3$ - $f_5$ .

В первом случае вид модуляции определяется согласно правилу:

"если  $f_2 > T_b$  то  $w_2$  (Stagger) иначе  $w_1$  (Const)". Порог  $T_b$  может быть найден на базе функции вида [1]

$$\Phi(\tau) = \beta(N - q) e^{-\tau/gn_{At}}, \quad (11)$$

где  $N$  — число наблюдаемых импульсов;  $\beta$  — константа, ( $\beta < 1$ );  $n_{At}$  — общее число элементарных ячеек (разрядов) гистограммы;  $\tau$  — размер элементарной ячейки гистограммы;  $q$  —уровень гистограммы;  $g$  — константа меньше единицы.

Таблица 3. Сравнительная характеристика усовершенствованного алгоритма

Число потерянных импульсов,%	0	5	15	25
Предложенный алгоритм	100	100	99.4	96.3
Известный [3]	90.3	89.1	85.7	78.2

Значения  $\beta$  и  $g$  находятся опытным путем. Отметим, что здесь величина  $\beta$  задает предполагаемый процент потерянных импульсов.

Принятие решение с использованием признаков  $f_3$ - $f_5$  проводится согласно алгоритму, показанному на рисунке 4.

Его суть заключается в последовательном сравнении признаков  $f_3, f_4, f_5$  с определенными порогами  $T_1, T_2, T_3$ , (см. таблицу 1).

Оценка достоверности распознавания проводилась при разном числе  $R$  ложных импульсов в анализируемых последовательностях. Данная величина, равная отношению (в процентах) числа ложных импульсов к общему числу изменялась от 0% до 25% с шагом 5%. С целью исключения влияния случайных факторов для каждого значения  $R$ , используя метод Монте-Карло, проведено 200 экспериментов. Показано, что число ложных в смеси импульсов существенно не влияет на достоверность распознавания при  $R$  от 0 до 25%.

Аналогично была проведена оценка влияния на достоверность распознавания числа  $V$  пропущенных в смеси импульсов. Величина  $V$ , также изменялась от 0 до 25% с шагом 5%.

Выявлено, что число правильных решений уменьшается с ростом  $V$ , но оно всегда больше 96%.

И в заключении был проведен эксперимент, описывающий качество разработанного алгоритма при условии наличия в смеси ложных импульсов, и отсутствия истинных.

Установлено, что в условиях сложных возмущающих факторов, качество распознавания может уменьшиться до 92%.

В таблице 3 приведена обобщенная характеристика исследуемого алгоритма при разных значениях  $V$ .

Здесь же, для сравнения, показана оценка качества известного алгоритма [3].

Из данной таблицы видно преимущество использования предложенных признаков для распознавания вида модуляции импульсных последовательностей.

Таким образом, рассмотренный алгоритм распознавания вида модуляции ППИ обеспечивает достоверное решение данной задачи в условиях изменения во времени закона модуляции и искажения исходной выборки случайными возмущениями.

## ЛИТЕРАТУРА

- Mardia H.K. New Techniques for The Deinterleaving of Repetitive Sequences // IEE Proc. F-Radar and Signal Processing. 1989. Vol. 136, № 4. P. 149–154.
- Терентьев А.В., Коротков В.Ф. Радиотехническая разведка: Теория и практика обработки радиолокационных сигналов. СПб.: Медиапир, 2021, 345 с.
- Коротков В.Ф., Зырянов П.С. Разделение импульсных последовательностей в смешанном потоке сигналов // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2017. № 3. С. 5–10.
- 93 Ryoo, Y. — J., Song, K. — H., & Kim, W. — W. (2007). Recognition of PRI modulation types of radar signals using the autocorrelation. IEICE Transactions on Communications, E90-B (5), 1290–1294.
- Noone, G. P. (1999). A neural approach to automatic pulse repetition interval modulation recognition. In Proceedings of the information, decision and control conference (pp. 213–218).
- Rong, H., Jin, W., & Zhang, C. (2006). Application of support vector machines to pulse repetition interval modulation recognition. In Proceedings of 6th international conference on ITS telecommunications (pp. 1187–1190).
- Shi, Z.Y., Wu, H., Shen, W.D., et al.: 'Feature extraction for complicated radar PRI modulation modes based on auto-correlation function' (IEEE, Xi'an, China, 2017).
- Nelson D, "Special purpose correlation functions for improved signal detection and parameter estimation", International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp.73–76, 1993.
- Balin, M. (1996) IDEA—Interactive deinterleaver for ELINT analysis. In Proceedings of ICSPAT, Oct. 1996, 852–856.
- Справочник по радиолокации / Под ред. М.И. Сколника. Пер. с англ. под общей ред. В.С. Вербы. В 2 книгах. Книга 1. Москва: Техносфера, 2014. — 680 с.

© Царик Дмитрий Владимирович ( dvtsar@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АЛГОРИТМ ВРЕМЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В СМЕШАННОМ ПОТОКЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

**Царик Дмитрий Владимирович**

Директор по созданию средств радиопеленгования,  
ООО «Специальный технологический центр»,  
г. Санкт-Петербург)  
dvtsar@gmail.com

## ALGORITHM FOR TIME SELECTION OF PULSED SEQUENCES IN A MIXED RADAR SIGNAL STREAM

**D. Tsarik**

*Summary.* The problem of separating pulse sequences in a mixed flow of radar signals with restructuring of the pulse repetition period is considered. An algorithm for solving this problem is proposed, which is based on the use of an integral transformation of the pulse repetition intervals as a tool for estimating the periodicity and includes three stages. At the first stage, using the method of histogram analysis, the range of change in the pulse repetition period (PRP) in the input signal is determined. Then, sequences are searched for with a constant PTR and with a change in the PTR from and pulse to pulse according to a regular law. At the final stage, the presence of a sequence with a rearrangement of the PPI, relative to the average value, according to a random law, is considered. It is noted that the proposed algorithm is focused on the selection of pulse sequences with PPI wobble from a mixed stream and can be used in radio control equipment.

*Keywords:* time selection, pulse sequences, radio engineering control.

*Аннотация.* Рассмотрена задача разделения импульсных последовательностей в смешанном потоке радиолокационных сигналов с перестройкой периода повторения импульсов. Предложен алгоритм решения данной задачи, основанный на использовании интегрального преобразования интервалов следования импульсов в качестве инструмента оценки периодичности и включающий в себя три этапа. На первом этапе с помощью метода гистограммного анализа определяется диапазон изменения периода повторения импульсов (ППИ) во входном сигнале. Затем осуществляется поиск последовательностей с постоянным ППИ и с изменением ППИ от и импульса к импульсу по регулярному закону. На заключительном этапе рассматривается наличие последовательности с перестройкой ППИ, относительно среднего значения, по случайному закону. Отмечено, что предлагаемый алгоритм ориентирован на выделение из смешанного потока импульсных последовательностей с wobulation ППИ и может быть использован в средствах радиотехнического контроля.

*Ключевые слова:* временная селекция, импульсные последовательности, радиотехнический контроль.

## Введение

Селекция является одной из важных задач в станции радиотехнического контроля (РТК) [6, с.41–46]. Она позволяет разделить смешанный поток радиолокационных сигналов (смесь) на импульсные последовательности, принадлежащие разным источникам радиоизлучения (ИРИ). В смеси могут присутствовать одновременно сигналы с разными видами перестройки ППИ: постоянным законом (англ.— *const*), изменением от импульса к импульсу по регулярному закону (англ.— *stagger*), флуктуацией по случайному закону (англ.— *jitter*) [1, с.27].

Наиболее информативным признаком, по которому выполняется селекция, является время прихода импульса (ВПИ) [7, с.132–155]. Процесс разделения, основанный на данном параметре, называют временной селекцией.

Для решения вышеупомянутой задачи наиболее часто в практике РТК используются два метода: гистограммы разностей ВПИ [9, с.243] с последовательным поиском [2, 3] и интегрального преобразования интервалов следования импульсов (ППИ) [4, 5, 10]. Первый основан на вычислении автокорреляционной функции принятой смеси. Для простых и регулярных импульсных последовательностях при его применении наблюдается явно выраженный пик, который соответствует ППИ, а также их гармоникам (интервалам кратным ППИ). Что касается излучений со случайным изменением ППИ, то независимо от закона флуктуации на гистограмме разностей будет наблюдаться расширение пиков, что приводит к ложным решениям и пропуску jitter-сигнала.

Интегральное преобразование устраняет проблему появления гармонических составляющих при селекции простых сигналов и позволяет обнаруживать jitter-сигналы. Но данный метод имеет и недостатки. Наиболее



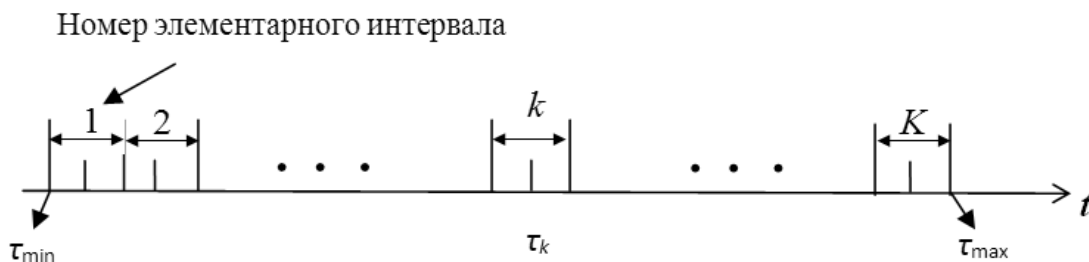


Рис. 1. Разделение диапазона возможных значений ППИ на элементарные интервалы

важные из них — это необходимость задания границ предполагаемых ППИ анализируемых сигналов, отсутствие возможности разделения stagger-последовательностей и недостаточная достоверность выделения jitter-последовательностей с вобуляцией ППИ больше 10%.

Цель статьи — разработка усовершенствованного алгоритма временной селекции сигналов, основанного на интегральном преобразовании интервалов следования импульсов, отличающегося большей достоверностью выделения из смеси последовательностей с вобуляцией ППИ.

Описание и анализ возможностей метода интегрального преобразования интервалов следования импульсов при анализе радиолокационных сигналов

Положим, что на вход анализирующего устройства станции РТК с разных направлений поступает смесь сигналов (поток импульсов) от неизвестного числа ИРИ. В смеси могут присутствовать одновременно сигналы со всеми ранее упомянутыми видами модуляции ППИ.

Пусть  $\Delta\tau = [\tau_{\min}, \tau_{\max}]$  — диапазон возможных значений ППИ. Разделим его на  $K$  элементарных интервалов шириной  $b = (\tau_{\max} - \tau_{\min}) / K$ , рисунок 1.

Середину элементарного интервала обозначим как

$$\tau_k = [(k - 1/2) / K](\tau_{\max} - \tau_{\min}) + \tau_{\min},$$

$$k = 1, 2, \dots, K.$$

Интегральное преобразование входной смеси представим как [4]

$$D_k^1 = \int_{\tau_k - b/2}^{\tau_k + b/2} D(\tau) d\tau =$$

$$\sum_{\tau_k - b/2 < t_n - t_m < \tau_k + b/2} \exp[2\pi i / (t_n - t_m)], \quad (1)$$

где

$$D(\tau) = \sum_{n=2}^N \sum_{m=1}^{n-1} \delta(\tau - t_n + t_m) \exp[2\pi j t_n / (t_n - t_m)],$$

$\tau > 0$ ,  $t_n, t_m$  — время прихода смежных импульсов в смеси,  $n = 2, \dots, N$ ,  $m = n - 1$ ,  $\delta(\cdot)$  — единичная функция Дирака.

Модуль  $|D_k^1|$  характеризует частотность  $k$ -го элементарного интервала. В дальнейшем совокупность значений  $|D_k^1|$  на интервале наблюдения  $T_{\max}$  будем называть спектром ППИ, а само преобразование (1) как ППИ-преобразование 1. Заметим, что ППИ-преобразование 1 позволяет обнаруживать в смеси, главным образом, простые и регулярные последовательности.

Для анализа jitter-сигналов будем использовать усовершенствованное интегральное преобразование, которое обозначим как ППИ-преобразование 2 [5]:

$$D_k^2 = \sum_{(1-\varepsilon) \cdot \tau_{\min} < t_n - t_m < \tau_{\max}(1+\varepsilon)} \exp[2\pi j(t_n - O_k) / \tau_k], \quad (2)$$

где  $O_k$  — начальная точка отсчета,  $\varepsilon$  — максимальное значение вобуляции ППИ jitter-сигналов.

В отличие от (1) в нем осуществляется перекрытие элементарных участков с переменной величиной

$b_k = 2\varepsilon \tau_k$ . Кроме того, в данном преобразовании применено смещение начальной точки отсчета  $O_k$  элементарных участков.

Алгоритмы вычисления  $D_k^1$  и  $D_k^2$  приведены ниже.

**Алгоритм ППИ-преобразования 1**

1. Задать начальные условия:  $D_k^1 = 0, 1 \leq k \leq K, n = 1$ .

2. Установить  $m = n - 1$ .

3. Установить  $\tau = t_n - t_m$ , если  $\tau \leq \tau_{\min}$  то перейти к шагу 5, иначе — к шагу 6.

4. Для каждой пары импульсов  $(m, n)$  выбрать  $k$ , согласно  $\tau_k - b/2 < \tau \leq \tau_k + b/2$  и вычислить  $D_k^1 = D_k^1 + \exp(2\pi i t_n / \tau)$ .

5. Присвоить  $m = m - 1$ , если  $m < 0$ , то перейти к шагу 6, иначе — к шагу 3.

6. Присвоить  $n = n + 1$ , если  $n > N - 1$ , то завершить процедуры, иначе перейти к шагу 2.

*Алгоритм ППИ-преобразования 2:*

1. Задать начальные условия:  $D_k^2 = 0, 1 \leq k \leq K, n = 2$ .

2. Установить  $m = n - 1$ .

3. Установить  $\tau = t_n - t_m$ , если  $\tau \leq (1 - \varepsilon)\tau_{\min}$ , то перейти к шагу 5, если  $\tau > (1 + \varepsilon)\tau_{\max}$  — к шагу 6.

4. Рассчитать диапазон элементарных интервалов

$$k_1 = \left\lfloor \left( \frac{\tau}{1 + \varepsilon} - \tau_{\min} \right) / \Delta\tau \right\rfloor + 1,$$

$$k_2 = \left\lfloor \left( \frac{\tau}{1 - \varepsilon} - \tau_{\min} \right) / \Delta\tau \right\rfloor + 1$$

где  $\Delta\tau = (\tau_{\max} - \tau_{\min}) / K$

5. Повторить следующие 5 шагов (от 6-го до 10-го) для  $k = k_1, \dots, k_2$

6. Задать начало отсчета. Если  $k$ -ый элементарный интервал используется первый раз, то  $O_k = t_n$ .

7. Рассчитать переменные  $\nu = [\eta_0 + 0.5]$  и  $\zeta = \eta_0 / \nu - 1$ ,

где  $\eta_0 = (t_n - O_k) / \tau_k$ .

8. Сместить начало отсчета  $O_k = t_n$ , если выполняется одно из ниже приведенных условий:

a)  $\nu = 1, t_m = O_k,$

b)  $\nu \geq 2, |\zeta| \leq \zeta_0.$

9. Рассчитать переменную  $\eta = (t_n - O_k) / \tau_k$ .

10. Вычислить  $D_k^2 = D_k^2 + \exp(2\pi i t_n / \tau)$ .

11. Присвоить  $m = m - 1$ , если  $m < 1$ , то перейти к шагу 12, иначе —

к шагу 3.

12. Присвоить  $n = n + 1$ , если  $n > N$ , то завершить алгоритм, иначе перейти к шагу 2.

Обнаружение присутствующей в смеси последовательности с ППИ равным  $\tau_k$ , проводится путем сравнения модуля  $D_k^1$  или  $D_k^2$  с порогом. В качестве последнего предложено использовать величину, вычисляемую по формуле [5]

$$A_k = \max \left\{ \alpha \frac{T_{\max}}{\tau_k}, \beta C_k, \gamma \sqrt{N^2 b_k / T_{\max}} \right\}, \quad (3)$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  — константы,  $C_k$  — число импульсов последовательности с периодом равным  $\tau_k, k = 1, 2, \dots, K$ .

Анализ влияния влияние параметра  $\Delta\tau$  на качество интегрального преобразования ППИ

Предположим, что имеется три перемешанные импульсные последовательности, каждая из которых имеет по 50 импульсов с ППИ, равными 168 мкс, 180 мкс и 902 мкс соответственно. С помощью преобразования ППИ мы можем выделить данные последовательности с максимальной ошибкой  $\sigma_{pri} = 1$  мкс, если верхняя граница  $\Delta\tau$  равна 1000 мкс, рисунок 2.

Значения ППИ будут равны 167 мкс, 179 мкс и 901 мкс. При увеличении  $\tau_{\max}$  до 5000 мкс. ошибка  $\sigma_{pri}$  увеличивается до 5 мкс. ( $T_1 = 165$  мкс,  $T_2 = 175$  мкс и  $T_3 = 905$  мкс), рисунок 3.

Из анализа рисунков 2 и 3 следует, что чем больше величина  $\Delta\tau$ , тем меньше точность определения ППИ.

В случае, когда задан диапазон ППИ, не соответствующий реальному, будут пропуски в обнаружении сигнала. Пусть, например неправильно установлен диапазон  $\Delta\tau = [0-900]$  мкс. При данном значении  $\Delta\tau$  третья

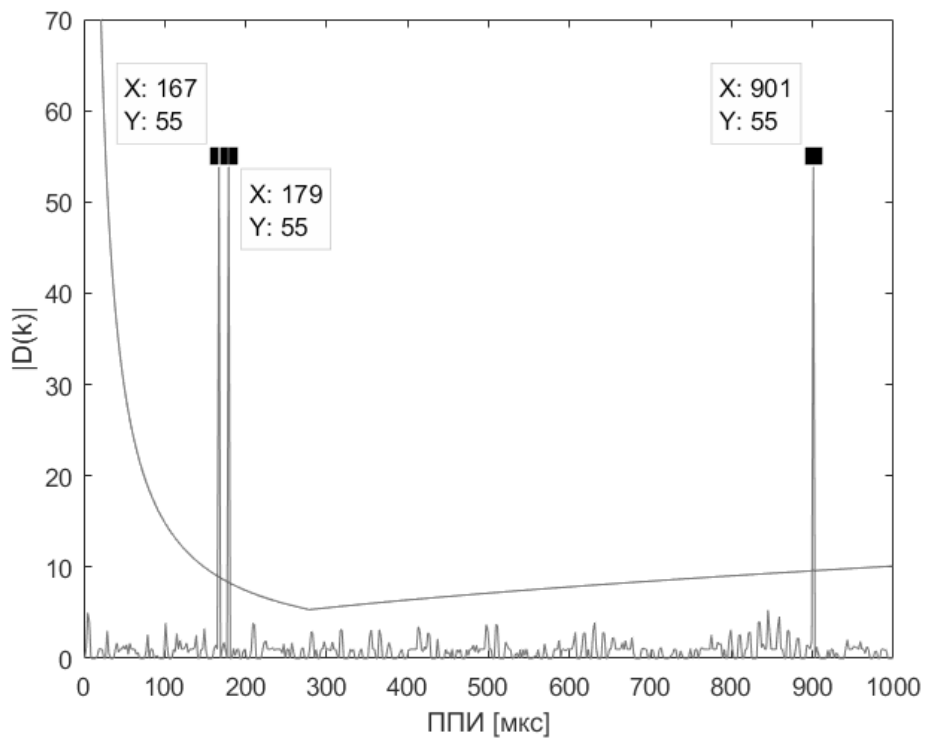


Рис. 2. Спектр ППИ преобразования1 трех перемешанных простых последовательностей на интервале наблюдения 1000 мкс

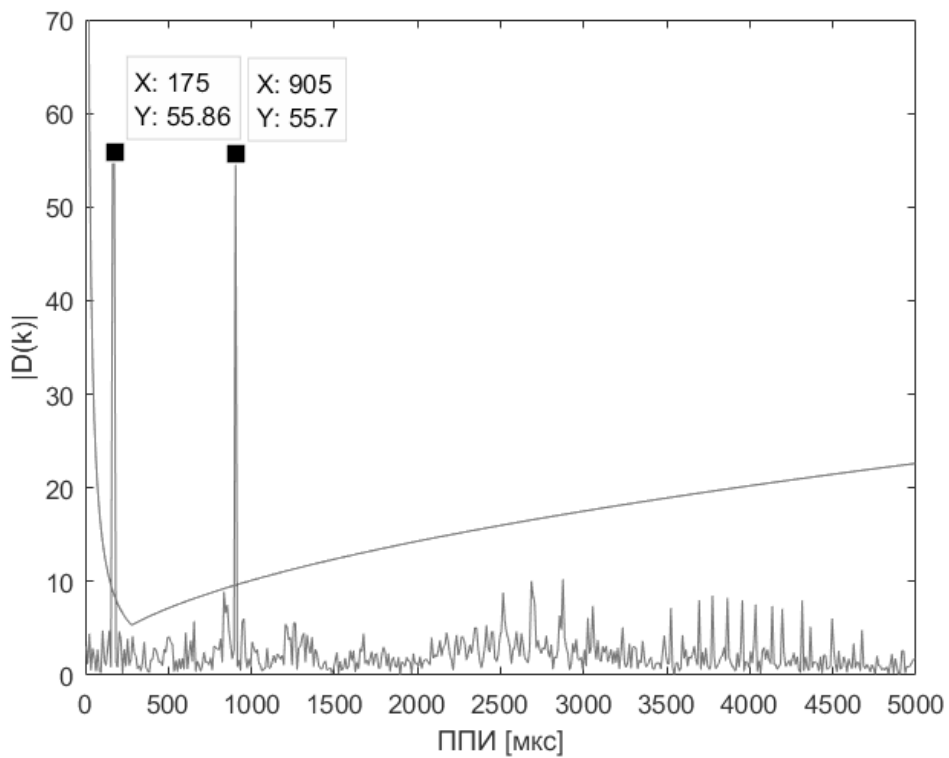


Рис. 3. Спектр ППИ преобразования1 трех перемешанных простых последовательностей на интервале наблюдения 5000 мкс

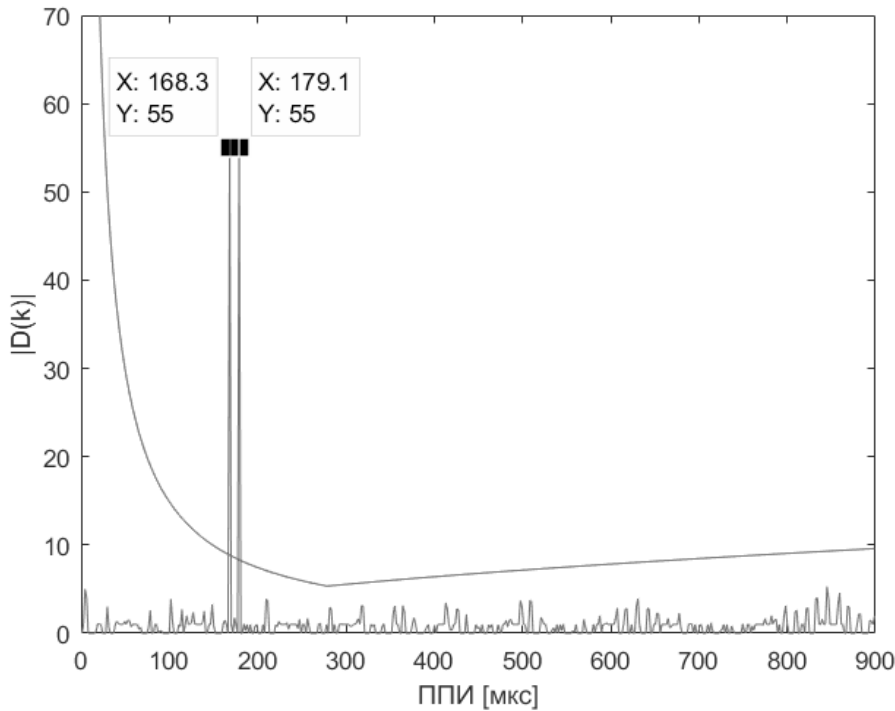


Рис. 4. Спектр ППИ преобразования1 трех перемешанных простых последовательностей на интервале наблюдения 900 мкс

последовательность в анализируемой смеси с  $T_3=902$  не будет обнаружена, рисунок 4.

В связи с этим для правильного определения ППИ необходим анализ всех возможных разностей ВПИ смеси перед применением ППИ-преобразования.

Описание алгоритма

Предложенный алгоритм основан на предварительном анализе диапазона возможных значений ППИ в смеси с использованием метода гистограммы разностей ВПИ [2] и последовательном применении двух интегральных преобразований (1) и (2).

Обработка входной смеси выполняется следующим образом, рисунок 5.

На первом этапе обработки формируют массив ВПИ  $\{t_k\}$  на выбранном интервале наблюдения  $T_{max}$ .

На втором этапе вычисляют диапазон изменения интервалов следования импульсов во входной смеси с использованием разностей ВПИ уровня,  $q = 1, 2, \dots, Q_{max}$  где  $Q_{max}$  — настраиваемый параметр. Из полученных разностей формируются  $Q_{max}$  гистограмм и список ППИ, содержащий значения, для которых уровни гистограммы превосходят порог. Если в списке оказывается един-

ственная разность, она принимается в качестве верхней границы диапазона. Если заданный порог превышают несколько разностей, их минимальное и максимальное значения принимают в качестве границ ППИ.

В качестве пороговой может быть использована функция вида [2]

$$\Phi(\tau) = \beta(N - q) e^{-\tau/gn_{dt}}, \tag{4}$$

где  $N$  — число наблюдаемых импульсов;  $\beta$  — константа, ( $\beta < 1$ );  $n_{dt}$  — общее число элементарных ячеек гистограммы;  $\tau$  — размер элементарной ячейки гистограммы;  $q$  — уровень гистограммы;  $g$  — константа меньше единицы.

Значения  $\beta$  и  $g$  находят опытным путем. Отметим, что здесь величина  $\beta$  задает предполагаемый процент потерянных импульсов.

На третьем этапе проводят обнаружение и выделение импульсных последовательностей, присутствующих в смеси. Данный этап состоит из двух шагов.

На первом шаге с использованием ППИ-преобразования1 входную смесь анализируют на наличие последовательностей с постоянным значением ППИ и изменяемых по регулярному закону.

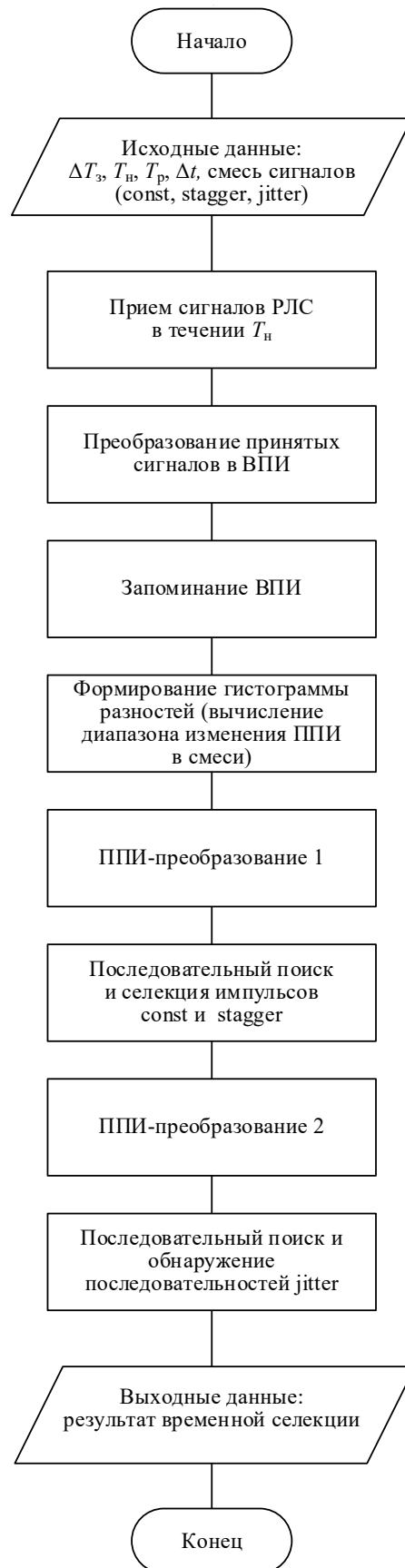


Рис. 5. Алгоритм временной селекции

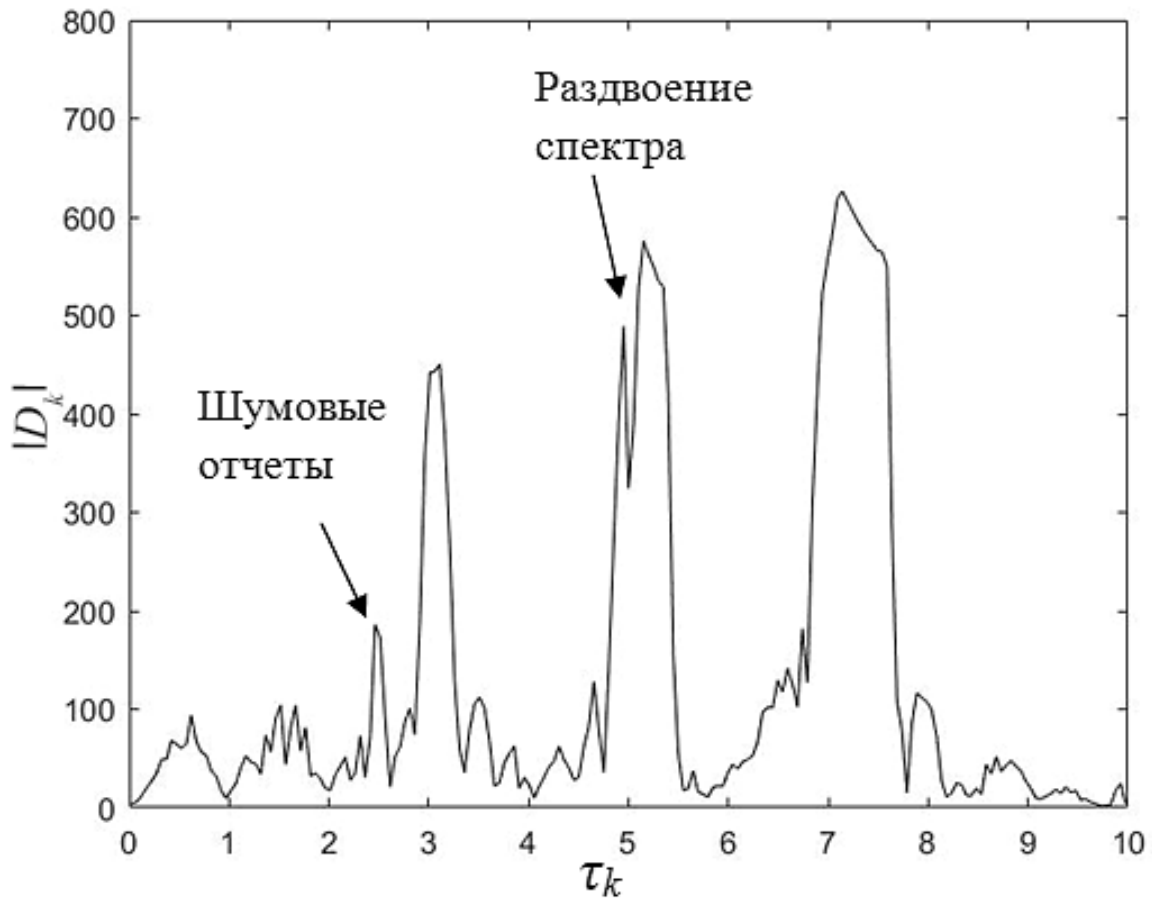


Рис. 6. Результат ППИ-преобразования 2 трех перемешанных последовательностей с амплитудой вобуляции  $\epsilon = 0,2$

На втором шаге применяют ППИ-преобразование 2 с целью проверки в смеси последовательности с перестройкой ППИ по случайному закону. Поскольку при большой величине  $\epsilon$  вобуляции ППИ относительно среднего значения могут наблюдаться ложные пики (шумовые отчеты) на ППИ-спектре, а также его раздвоение (рисунок 6), к вычисленным значениям  $D_k^2$  применяется операция сглаживания

$$|D_k^2| = \frac{1}{5} (|D_{k-2}^2| + |D_{k-1}^2| + |D_k^2| + |D_{k+1}^2| + |D_{k+2}^2|), \quad (5)$$

где  $k = 2, 3, \dots, K - 2$ .

Применение данной операции позволяет устранить данный недостаток интегрального преобразования, приводящего к обнаружениям ложных последовательностей.

Как на первом, так и на втором шаге для выделения обнаруженных последовательностей из входной смеси используют процедуру последовательного поиска [3]. Критерием остановки поиска является определенный

размер (число оставшихся импульсов  $M < 5$ ) во входной смеси или истечение заданного интервала времени  $\Delta T_3, \Delta T_p > \Delta T_3$ , где  $\Delta T_p$  — время анализа.

Продемонстрируем работоспособность предложенного алгоритма временной селекции на следующем примере. Предположим, что входной сигнал представляет собой смесь, состоящую из четырех импульсных последовательностей (по 50 импульсов в каждой) с разными видами изменения ППИ:

1. ППИ-const:  $T_1 = 163$  мкс,  $T_3 = 4002$  мкс;
2. ППИ-jitter,  $\epsilon = 10\%$ :  $T_1 = 1005$  мкс;
3. ППИ-stagger:  
 $= T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 = 2750 = 300 + 425 + 550 + 675 + 800$ .

Согласно предложенному алгоритму, вначале осуществляется оценка диапазона изменения ППИ в исходной смеси импульсных последовательностей с использованием гистограммы разностей. Результат работы данного этапа для 9-ти уровней разностей показан на рисунке 7.

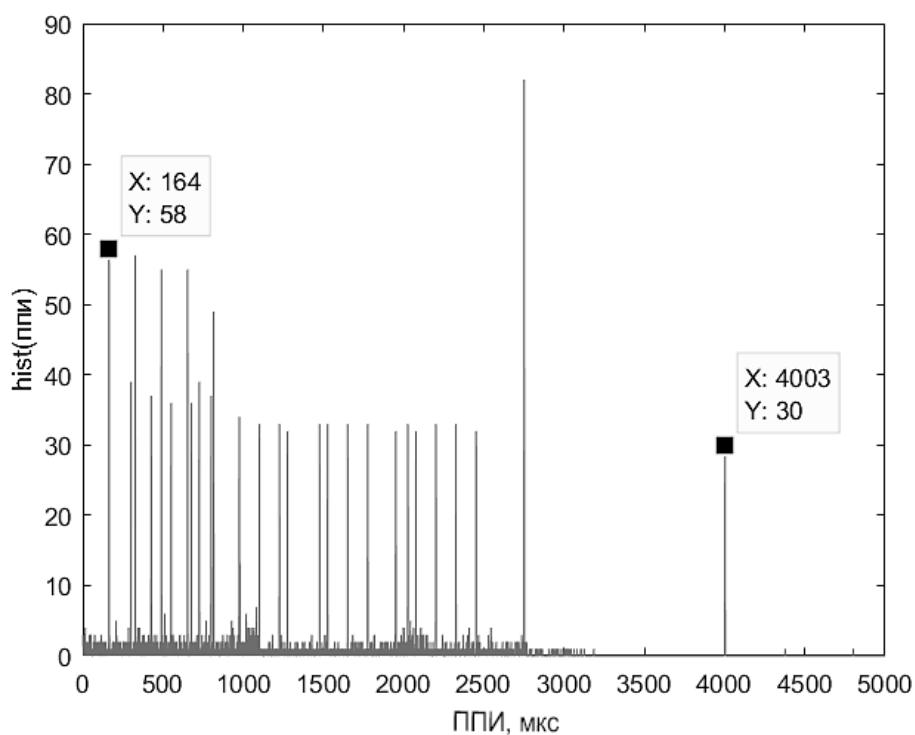


Рис. 7. Результат применения операции гистограммы разностей к анализируемой смеси из четырех перемешанных последовательностей

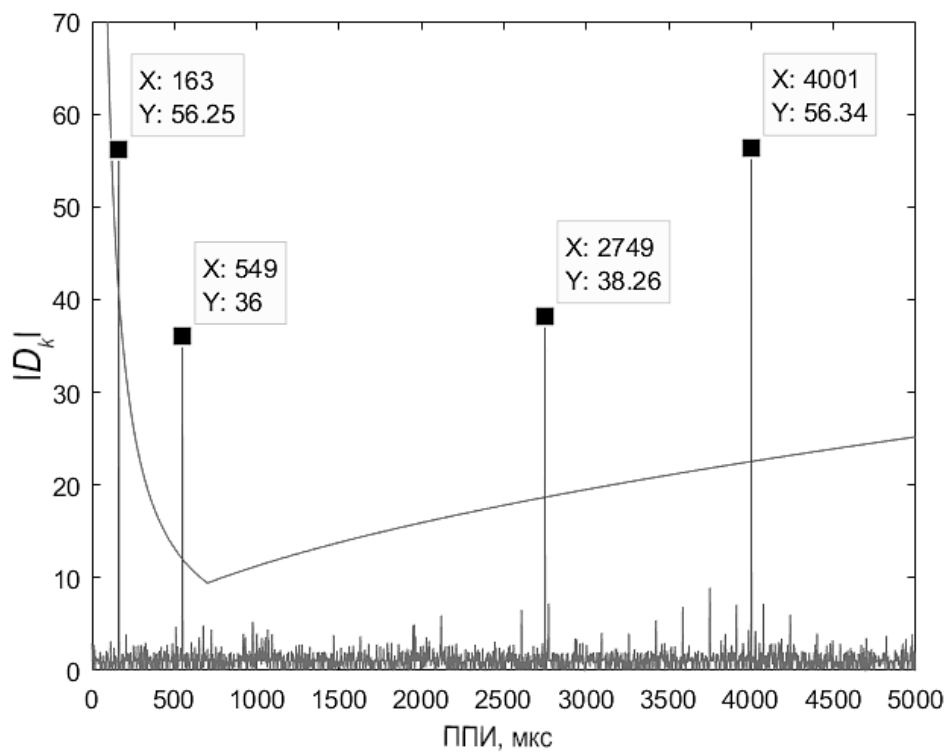


Рис. 8. Результат применения ППИ-преобразования1 к анализируемой смеси из четырех перемешанных последовательностей

Таблица 1. Результаты моделирования

N (Число импульсов в смеси)	Число ИРИ	Число обнаруженных ИРИ		
		Вобуляция 10% ( $\alpha=0.05$ )	Вобуляция 20% ( $\alpha=0.1$ )	Вобуляция 30% ( $\alpha=0.15$ )
1000	1	1/1	1/1	1/1
1000	2	2/2+2 ложных	2/2	2/2
1000	3	3/3 +1 ложный	3/3	3/3
1000	4	4/4	3/4	3/4
1000	5	5/5	3/5	4/5
100	1	1/1	1/1	1/1
100	2	2/2	2/2	2/2 + 1 ложный
100	3	3/3	3/3	2/3 + 1 ложный
100	4	4/4	4/4	4/4 + 2 ложных
100	5	5/5	4/5	5/5
50	1	1/1	1/1	1/1
50	2	2/2	2/2	2/2
50	3	2/3	3/3	2/3
50	4	2/4	2/4	2/4
50	5	2/5	4/5	4/5

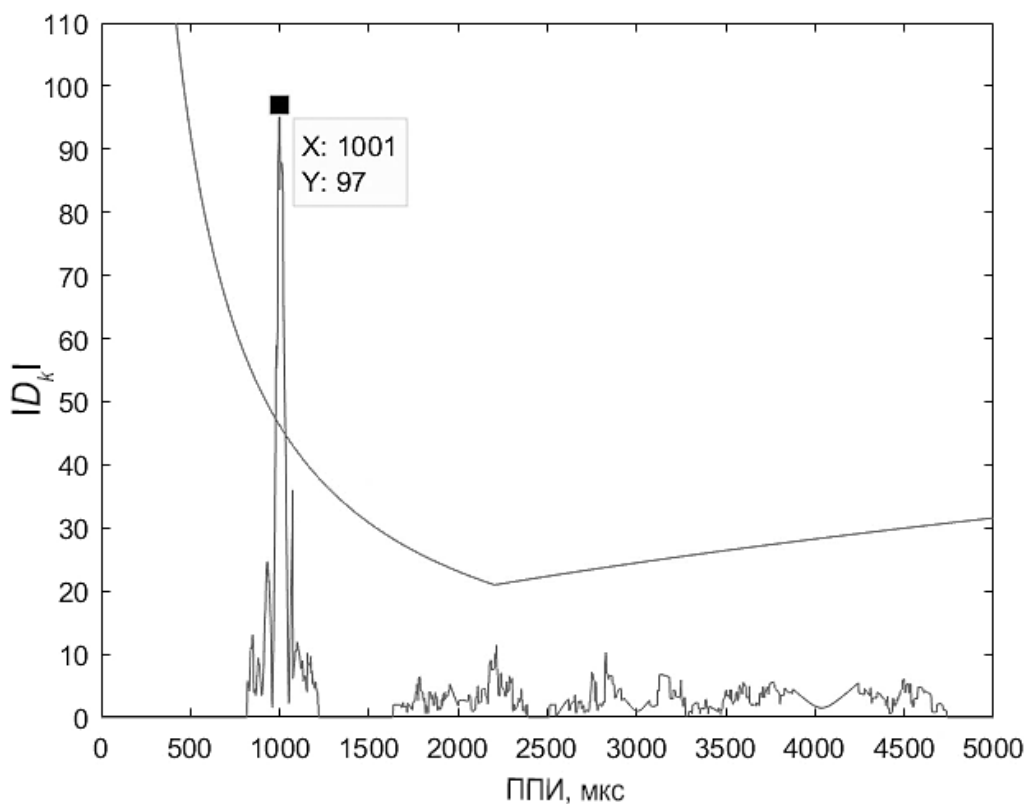


Рис. 9. Результат применения ППИ-преобразования 2 к анализируемой смеси из четырех перемешанных последовательностей



Из его рассмотрения следует, что верхняя граница диапазона изменения ППИ не превышает 4003 мкс. Минимальное значение интервала следования импульсов составляет 164 мкс.

Далее выполняют процедуру селекции, состоящую из двух этапов: обнаружение импульсных последовательностей и их выделение из входной смеси на основе ППИ-преобразования<sup>1</sup> и последовательного поиска. Результат обнаружения ППИ на данном этапе представлен на рисунке 8.

Он показывает, что во входной смеси присутствуют, предположительно, четыре импульсные последовательности с периодами 163 мкс, 549 мкс, 2749 мкс и 4001 мкс. Методом последовательного поиска подтверждено наличие последовательностей с такими ППИ за исключением сигнала с интервалом 549 мкс, являющийся ложным. Последовательный поиск предполагает поочередный просмотр массива ВПИ с заданным интервалом (периодом). Наличие импульсов в контролируемых временных точках является основанием для принятия решения об обнаружении (наличии) импульсной последовательности с определенными (контролируемыми) характеристиками. Сигнал со случайным изменением ППИ от импульса к импульсу, присутствующий в смеси, на данном этапе алгоритма не обнаружен.

После удаления выявленных последовательностей из входной смеси, осуществляют проверку условия остановки селекции: «число оставшихся импульсов не должно превышать требуемого значения». Если это условие не выполняется осуществляют переход ко второму этапу селекции, а именно проверка на наличие вобулирующей последовательности на основе ППИ-преобразования<sup>2</sup>. Применительно к рассматриваемому примеру результат работы данного этапа селекции показан на рисунке 9.

На нем виден пик примененного ППИ-преобразования<sup>2</sup> в точке со значением  $T = 1001$  мкс. Методом последовательного поиска подтверждено наличие последовательности с таким ППИ и вобуляцией его интервалов следования импульсов относительно  $T$ .

Путем имитационного моделирования была проведена оценка качества рассмотренного алгоритма

селекции при обработке сигналов с вобуляцией ППИ по случайному закону. Входной поток включал в себя 5 перемешанных сигналов с ППИ равными — 1000 мкс, 1414 мкс, 1732 мкс, 2236 мкс, и 4358 мкс. Величина вобуляции изменялась от 10% до 30% относительно значения ППИ, а число импульсов в смеси от 50 до 1000. Результаты приведены в таблице 1.

При числе импульсов равным 1000 и величине вобуляции 10% были обнаружены (выделены) все 5 последовательностей. Увеличение вобуляции приводит к сокращению числа выявленных ИРИ (до 3–4). В некоторых случаях имеет место ложное обнаружение, обусловленные в том числе неоптимальностью выбранного порога.

Когда число импульсов в смеси уменьшалось до 100, форма спектра ППИ становится менее четкой, но это не влияет на результат обнаружения при вобуляции 10%. Увеличение величины данного параметра до 30% приводит к уменьшению числа правильно выявленных ИРИ до 2–3, но за счет сглаживания отчетов ППИ-спектра достоверность выделения jitter-сигналов выше в 1.3–1.4 раза.

Дальнейшее сокращение числа импульсов в смеси до 50 вызывает рост неопределенности в принятии решения.

Таким образом, можно констатировать, что для приемлемого качества обнаружения последовательностей необходимо, чтобы в смеси присутствовало не менее 100 импульсов.

## Заключение

Таким образом, рассмотренный алгоритм селекции за счет предварительного анализа диапазона возможных значений ППИ, присутствующих в исходной выборке и совместного применения гистограммы разностей ВПИ и двух интегральных преобразований интервалов следования импульсов позволяет реализовать разделение смешанного потока, включающего в себя как простые и регулярные последовательности, так и сигналы с вобуляцией ППИ по закону jitter. При этом достоверность выделения jitter последовательностей за счет сглаживания, по сравнению с известным алгоритмом увеличивается в 1,3–1,4 раза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Терентьев А.В., Коротков В.Ф. Радиотехническая разведка: Теория и практика обработки радиолокационных сигналов. СПб.: Медиапир, 2021. — 345 с.
2. Mardia H.K. New Techniques for The Deinterleaving of Repetitive Sequences // IEE Proc. F-Radar and Signal Processing. 1989. Vol. 136, № 4. P. 149–154.
3. Коротков В.Ф., Зырянов Р.С. Разделение импульсных последовательностей в смешанном потоке сигналов // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2017. № 3. С. 5–10.

4. Nelson D, "Special purpose correlation functions for improved signal detection and parameter estimation", International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp.73–76, 1993
5. Kenichi N and Masacki K, "Improved Algorithm for Estimating Pulse Repetition Intervals," IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems., VOL. 36, NO.2. April 2000.
6. Смирнов Ю.А. Радиотехническая разведка. — М.: Воениздат, 2001. — 456 с.
7. Мельников Ю.П. Воздушная радиотехническая разведка. Методы оценки эффективности. — М.: Радиотехника, 2005. — 304 с.
8. Wiley, R.G., Electronic Intelligence: The Analysis of Radar Signals Second Edition, Norwood, MA: Artech House, 337 (1993) .
9. Milojevic, D.J., Popovic, B.M.: Improved algorithm for the deinterleaving of radar pulses. IEE proceedings 139 (1), 98–104 (1992) .
10. Balin, M. (1996) IDEA—Interactive deinterleaver for ELINT analysis. In Proceedings of ICSPAT, Oct. 1996, 852–856.

---

© Царик Дмитрий Владимирович ( dvtsar@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Санкт-Петербург

# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ МИНИСТЕРСТВА СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

## PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF EXISTING INFORMATION SYSTEMS OF THE MINISTRY OF AGRICULTURE OF THE RUSSIAN FEDERATION

*I. Cherenkova  
I. Kutlikova  
M. Novikov*

*Summary.* Digitalization of agriculture in the last few years has been considered as one of the priorities of the state policy of the agro-industrial sector within the framework of the overall strategy for the development of the national digital economy. The main goal of such digitalization is to increase the efficiency and sustainability of the agro-industrial complex by simplifying the processes of interaction between the subjects of the industry, the processes of collecting and processing information, as well as the process of interaction of the subjects of the industry with government agencies and organizations. However, such goals have not yet been achieved in the Russian agro-industrial complex, which is confirmed by the identified problems in the system of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation.

The existing problems of the development of existing information systems indicate that the most important prospect for the development of such systems in the medium term is to ensure the integration of such systems, which will simplify both the possibility of information exchange and the work of users of the system, as well as decision-making processes. At the same time, practical issues of ensuring the integration of information systems among themselves are complex and require taking into account the specifics of the choice of technological solutions that meet the essence of agricultural informatization, taking into account the shortcomings of existing information systems, taking into account the specifics of data processed in existing information systems. Integration of existing information systems can be considered as a complex, but very important step towards the modern technological infrastructure of the Ministry of Agriculture of Russia, because despite the initial complexity in developing technical solutions, it will simplify many operations and make data exchange and decision-making processes more efficient and qualitative.

*Keywords:* agriculture, information systems, digitalization, modernization of information systems, integration of information systems.

**Черенкова Ирина Анатольевна**

*Старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени К.И. Скрябина»*

**Кутликова Ирина Вениаминовна**

*Старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени К.И. Скрябина»*

**Новиков Михаил Вячеславович**

*К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени К.И. Скрябина»*

*6773285@gmail.com*

*Аннотация.* Цифровизация сельского хозяйства в последние несколько лет рассматривается в качестве одного из приоритетных направлений государственной политики агропромышленной отрасли в рамках общей стратегии развития национальной цифровой экономики. Основная цель такой цифровизации — повышение эффективности и устойчивости агропромышленного комплекса за счет упрощения процессов взаимодействия между субъектами отрасли, процессов сбора и обработки информации, а также процесса взаимодействия субъектов отрасли с государственными органами и организациями. Однако в российском агропромышленном комплексе такие цели еще не достигнуты, что подтверждается выявленными проблемами действующих информационных систем Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

Существующие проблемы развития действующих информационных систем указывают на то, что наиболее важной перспективой их развития в среднесрочной перспективе является обеспечение процесса интеграции таких систем, который упростит как возможность обмена информацией и работу пользователей системы, так и процессы принятия решений. При этом практические вопросы обеспечения интеграции информационных систем между собой являются сложными и требуют учета специфики выбора технологических решений, отвечающих сути информатизации сельского хозяйства с учетом недостатков уже действующих информационных систем, а также специфики данных, обрабатываемых в действующих информационных системах. Интеграцию действующих информационных систем можно рассматривать как сложный, но очень важный шаг к современной технологической инфраструктуре Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, поскольку, несмотря на первоначальную сложность в разработке технических решений, она упростит многие операции и сделает процессы обмена данными и принятия решений более эффективными и качественными.

*Ключевые слова:* сельское хозяйство, информационные системы, цифровизация, модернизация информационных систем, интеграция информационных систем.

**В** настоящее время практически все инициативы в области цифровизации строятся на так называемых технологиях и решениях, ориентированных на мобильные, облачные, большие данные, аналитику и социальные технологии. Интернет вещей (IoT), робототехника, 3D-печать значительно расширяют возможности цифровизации. Одним из ключевых направлений цифровизации сельского хозяйства в Российской Федерации является разработка и промышленное внедрение информационных систем Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (далее — Минсельхоза России).

В 2021 году Минсельхоз России анонсировал необходимость увеличения к 2030 году объема затрат из федерального бюджета на внедрение цифровых технологий в сельском хозяйстве до 50 млрд. руб. [7], а уже в начале июня 2022 года на обновление и модернизацию информационных систем Минсельхоза России из федерального бюджета было выделено более 907 млн. рублей [8]. Запланированные объемы финансирования, по словам заместителя Минсельхоза России Елены Фастовой, планируются направить на формирование единой цифровой платформы агропромышленного комплекса [9], не только объединяющей все действующие информационные системы Минсельхоза России, но и позволяющей пользователям выбирать любой наиболее удобный для них интерфейс взаимодействия — через личный кабинет на сайте или через мобильное приложение.

Однако в настоящий момент перспективы интеграции всех действующих систем Минсельхоза России в единую цифровую платформу видятся гораздо менее оптимистичными, чем об этом заявляют в официальных источниках.

Во-первых, несмотря на то, что процесс разработки и промышленного внедрения информационных систем Минсельхоза России начался уже более 10 лет назад, до настоящего момента ни одна из 8 действующих информационных систем не функционирует эффективно [10]. В частности, субъекты агропромышленного комплекса, находящиеся в сельских районах, предпочитают либо не пользоваться системами при причине отсутствия навыков или свободного доступа в Интернет, либо вносят в системы данные с ошибками [3, 5].

Во-вторых, несмотря на объемы финансового обеспечения, выделяемые на развитие действующих информационных систем Минсельхоза России, такие системы до сих пор преимущественно ориентированы на оцифровку данных с целью оптимизации процессов подачи и получения документов, нежели на цифровую трансформацию, заключающуюся в упрощении и совершенствовании процессов взаимодействия между

различными субъектами, в том числе при оказании государственных услуг.

В-третьих, все действующие информационные системы Минсельхоза России функционируют обособленно друг от друга и никак не связаны между собой, что усложняет процесс обмена данными и создает разрозненность информации [3, 4, 5].

Исходя из выше обозначенных проблем развития действующих информационных систем Минсельхоза России, наиболее важной перспективой их развития в среднесрочной перспективе является обеспечение процесса интеграция таких систем, который упростит возможность обмена информацией, работу пользователей системы и процессы принятия решений. При этом практические вопросы обеспечения интеграции информационных систем между собой являются сложными и требуют учета специфики выбора технологических решений, отвечающих сути информатизации сельского хозяйства, учета недостатков уже действующих информационных систем, учета специфики данных, обрабатываемых в действующих информационных системах.

Учет специфики выбора технологических решений, необходимых для обеспечения интеграции действующих систем Минсельхоза России, должен отвечать целям внедрения технологической интеграции. Технологическая интеграция информационных систем предполагает использование настраиваемого готового программного обеспечения или создание специализированного набора приложений для управления уникальным сценарием управления данными [2]. С учетом специфики действующих информационных систем Минсельхоза России создание специализированного набора приложений для управления уникальным сценарием управления данными видится наиболее верным решением, поскольку выбор готового программного продукта ориентирован на работу со стандартизированными алгоритмами, а не на учет потребности конкретного пользователя.

Проблемы действующих информационных систем Минсельхоза России указывают на то, что перспективы интеграции напрямую зависят от количественного определения того, чего должна достичь интеграция, а также как субъекты-пользователи систем будут получать доступ к информации на базе единой интегрированной системы, к какой именно информации будет осуществляться соответствующий доступ, а также от того, какие недостатки действующих информационных систем необходимо устранить.

Теперь акцентируем внимание на учете специфики данных. Проектирование единой информационной

системы на интегрированной основе обозначает настройку архитектуры данных для обеспечения доступа к информации в масштабах всех действующих информационных систем Минсельхоза России. Исходя из этого необходимо иметь четкое представление о том, будет ли изменен формат данных точки зрения их качества и формата (учитывая тот факт, что форматы данных в действующих информационных системах Минсельхоза различны). Кроме того, необходим принципиально новый подход к обеспечению мер безопасности данных для защиты интегрированных источников данных от несанкционированного доступа, внешнего воздействия или фальсификации.

Важно отметить и тот факт, что предлагаемые перспективы развития действующих информационных систем Минсельхоза России через интеграцию в систему общих данных — это не просто объединение действующих систем, состоящих из отдельных функций в рамках модульного пакета приложений, это принципиально новый подход к хранению данных, доступу к данным, обмену данными, архивированию данных и работе с данными. Игнорирование вышеназванных факторов приведет к тому, что будет создана новая система, которая унаследует все недостатки действующих информационных систем Минсельхоза России и не предложит никаких новых возможностей, в то время как интеграция нескольких информационных систем, как правило, направлена на объединение выбранных систем таким образом, чтобы они образовывали единое новое целое [6].

Как отмечается в специализированной литературе, преимуществом интеграции нескольких информационных систем в единое целое является возможностью однородного логического представления данных, которые физически распределены по разнородным источникам данных (систем) [2, 6]. Однако для достижения указанного преимущества все данные должны быть представлены с использованием одних и тех же принципов абстракции, включающих в себя решение задачи по обнаружению и разрешению конфликтов схемы и данных.

Интеграция обеспечивает централизованный контроль над процессами, что повышает эффективность работы со всеми подсистемами единой интегрированной системы, однако из-за ее многогранности важное значение имеет правильный выбор архитектурной модели, ориентированной на учет количества и характера компонентов, которые необходимо интегрировать между собой.

В специализированной литературе выделяют три наиболее популярные архитектуры интеграции раз-

розненных информационных систем в одну систему — двухточечную модель интеграции (P2P); модель «ступица со спицами» (Hub & Spoke Model), и модель «корпоративной сервисной шины» (ESB). Первая — двухточечная модель, представляет собой архитектурный шаблон, в котором каждая информационная система в рамках общего процесса интеграции будет напрямую связана со всеми другими системами. Что касается процесса обмена данными, то данные будут извлекаться из одной системы и форматироваться и преобразовываться в формат, доступный для маршрутизации в другие системы [6]. Очевидным минусом такой интеграционной архитектуры является трудномасштабируемость и сложная управляемость, поэтому модель подходит исключительно для интеграции небольших систем. Если ориентироваться на специфику действующих систем Минсельхоза России в части объема обрабатываемых данных и перечня решаемых системами задач, то можно сделать однозначный вывод о том, что двухточечная модель интеграции не выглядит приемлемым вариантом.

Следующая модель — модель «ступица-спица», имеет специальную архитектуру соединения между несколькими разрозненными системами и центральным узлом обработки информации, служащим промежуточным звеном, приводящим все данные к одному формату и передающим такие данные после форматирования из системы в систему. Вышеприведенная модель является высокомасштабируемой и простой по архитектуре. Минусом модели является все тот же центральный узел, который может не выдержать высокой нагрузки.

Что касается модели корпоративной сервисной шины, то ее архитектура предполагает создание отдельной специализированной системы — корпоративной сервисной шины, выполняющей функции уровня пользовательского интерфейса, соединяющего между собой другие системы и выступая в качестве магистрали обмена сообщениями. В отличие от модели «ступицы-спицы» с единым централизованным механизмом интеграции, в модели корпоративной сервисной шины каждая система имеет свой механизм интеграции, обеспечивающий перевод данных в различные форматы, приемлемые для маршрутизации. Такая модель высокомасштабируема и подходит для объединения сложных систем (аналогичных действующим системам Минсельхоза России) с облачными сервисами. При этом каждая система имеет свою собственную «шину обмена сообщениями», заменить которую можно без ущерба для работоспособности других подсистем. Недостатком модели является сложность в техническом обслуживании и устранении неполадок. Однако с учетом специфики действующих систем Минсельхоза России именно эта модель является оптимальной для решения

проблем интеграции, поскольку именно она допускает возможность самостоятельной настройки каждой из систем, а также обеспечивает возможность добавления новых систем или удаления старых систем, то есть интеграция не будет препятствовать одновременной модернизации действующих систем Минсельхоза России, осуществляемой в настоящий момент.

Подводя итог настоящему исследованию, необходимо отметить, что наиболее важной перспективой развития систем Минсельхоза России в среднесрочной перспективе является обеспечение процесса их интеграции, который упростит как возможность обмена информацией и работу пользователей системы, так и процессы принятия решений. При этом практические

вопросы обеспечения интеграции информационных систем между собой являются сложными и требуют учета специфики выбора технологических решений, отвечающих сути информатизации сельского хозяйства, учета недостатков уже действующих информационных систем, учета специфики данных, обрабатываемых в действующих информационных системах. Интеграцию действующих информационных систем можно рассматривать как сложный, но очень важный шаг к современной технологической инфраструктуре Минсельхоза России, поскольку, несмотря на первоначальную сложность в разработке технических решений, она упростит многие операции и сделает процессы обмена данными и принятия решений более эффективными и качественными.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кусов Алексей Александрович Проблемы интеграции корпоративных информационных систем // УЭЖС. — 2011. — № 28. — С. 103–109.
2. Лебедев А.С. Проблемы интеграции корпоративных информационных систем — методы и технологии. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2020. — № 8. — С.73–78.
3. Управление рисками в сельском хозяйстве в условиях цифровой трансформации / О.А. Моторин, М.И. Горбачев, Г.А. Суворов [и др.]. — М.: «КноРус», 2019. — 226 с.
4. Харитонов В.И. Информационные аспекты развития системы продовольственного обеспечения // Россия: тенденции и перспективы развития. — 2021. — № 16–1. — С.494–497.
5. Цифровая трансформация сельского хозяйства России: офиц. изд. — М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. — 80 с.
6. Dittrich K.R., Jonscher D. All Together Now — Towards Integrating the World's Information Systems // In: Advances in Multimedia and Databases for the New Century. — World Scientific Press. — Kyoto, Japan, November 30 — December 2, 2018. — P. 109–123.
7. Минсельхоз приступает к полевым роботам. Цифровизация агропрома обойдется в 50 млрд. рублей. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/5018029?ysclid=lgdawogvur347036672> (дата обращения 10.04.2023 г.) .
8. Мишустин выделил 900 млн. рублей на цифровую трансформацию Минсельхоза. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://hightech.edu.ru/community-12955/7323374> (дата обращения 10.04.2023 г.) .
9. Минсельхоз России формирует единую цифровую платформу АПК/ Электронный ресурс. Режим доступа: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/minselkhoz-rossii-formiruet-edinuyu-tsifrovuyu-platformu-apk/?ysclid=lgdfgqn03i668425685> (дата обращения 10.04.2023 г.) .
10. Перечень информационных систем Минсельхоза России. Официальный сайт Минсельхоза России. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://mcx.gov.ru/analytics/infosystems/?ysclid=lf2sp3lep1651914171> (дата обращения 10.04.2023 г.) .

© Черенкова Ирина Анатольевна, Кутликова Ирина Вениаминовна,  
Новиков Михаил Вячеславович ( 6773285@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МЕТОДОЛОГИЯ ВНЕДРЕНИЯ БЕССЕРВЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМУ С МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ

## METHODOLOGY FOR IMPLEMENTING SERVERLESS TECHNOLOGY IN A SYSTEM WITH A MICROSERVICE ARCHITECTURE

**S. Shalgueva  
T. Leontieva**

*Summary.* Serverless technology is slowly gaining popularity, attracting auto-scaling capabilities, flexible configurations, and most importantly the pay-for-performance model. This paper explores the feasibility of migrating an existing microservices system to a serverless approach using the Knative framework. A methodology is developed to convert conventional microservices running in Kubernetes to serverless mode with support for modes of installing a new network layer or configuring an existing one. A system performance comparison between regular microservices and those converted to serverless mode is given. The results of performance measurements of the new system, including the costs of “cold start” depending on the workload of services and the programming languages in which these services are developed, are presented.

*Keywords:* cloud computing, microservices, serverless computing, self-hosted frameworks, knative.

**Шалгуева София Леонидовна**

Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого  
shalgueva.sl@edu.spbstu.ru

**Леонтьева Татьяна Владимировна**

Кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
leontyeva@ics2.ecd.spbstu.ru

*Аннотация.* Бессерверные технологии постепенно набирают популярность, привлекая возможностями автомасштабирования, гибкостью конфигураций, и главной моделью оплаты «плати только за время работы». В данной работе рассмотрена возможность перевода существующей системы микросервисов на бессерверный подход с использованием фреймворка Knative. Разработана методология перевода обычных микросервисов, работающих в Kubernetes, в бессерверный режим с поддержкой режимов установки нового сетевого слоя или конфигурации уже имеющегося. Приводится сравнение характеристик системы обычных микросервисов и переведённых в бессерверный. Представлены результаты замеров производительности новой системы, в том числе и затраты на «холодный старт» в зависимости от загруженности сервисов и языков программирования, на которых эти сервисы разработаны.

*Ключевые слова:* облачные вычисления, микросервисы, бессерверные вычисления, self-hosted фреймворки, knative.

## Введение

**В** современном мире компьютерных наук трудно назвать сферу, в которой не использовались бы облачные технологии. На данный момент облачные вычисления даже признают одной из лучших вычислительных парадигм [1]. Такая популярность обусловлена удобностью технологии и для клиентов, и для разработчиков.

Однако с появлением облачных вычислений перед разработчиками возникли дополнительные задачи. При разработке продукта необходимо дополнительно думать о балансировке нагрузки, возможности масштабирования, безопасности, мониторинга. Решение данных проблем привело к возникновению парадигмы бессерверных вычислений (serverless computing) [2]. При использовании бессерверных технологий заботы по управлению нагрузкой, выделением ресурсов, масштабированием ложатся на облачного провайдера, а пользователь может сосредоточиться на разработке.

Бессерверные вычисления также привлекают моделью оплаты “плати только за время использования”. Однако разработка приложений в соответствии с новой парадигмой может оказаться непростой из-за фундаментальных различий в архитектурах. Например, бессерверные экземпляры являются эфемерными, поэтому все данные приложения должны храниться во внешнем хранилище. Кроме того, бессерверные приложения трудно поддаются отладке и приносят новые сценарии отказов.

На данный момент запуск сервисов в бессерверном режиме возможен в рамках подходов: Function-as-a-Service (FaaS), Container-as-a-Service (CaaS) и с использованием Self-hosted фреймворков.

Function-as-a-Service (FaaS) [3] и Container-as-a-Service (CaaS) [4] — решения, предоставляемые облачными провайдерами, которые позволяют пользователям управлять функциональными возможностями приложений без необходимости создания и поддерж-

ки собственной инфраструктуры. Клиентам достаточно лишь загрузить исполняемый код в поддерживаемом сервисом формате. Оплата будет взиматься за ресурсы (vCPU и RAM), которые будет потреблять исполняемый код во время работы.

Self-hosted бессерверные фреймворки используют другой подход. Это больше не отдельный сервис, предоставляемый облачным провайдером, это дополнительный функционал к существующим PaaS и IaaS решениям [5]. В отличие от технологий FaaS и SaaS, подобные фреймворки могут быть развернуты непосредственно на виртуальной машине, в том числе и рядом с существующими системами. Это позволяет избежать привязки к определённому облачному провайдеру и предоставляет больше гибкости в конфигурациях по сравнению с публичным облаком. Однако создание собственных эффективных функций требует большого опыта и глубокого понимания фреймворков платформы и характеристик, влияющих на производительность [6]. Также важной особенностью являются возможные затраты на размещение фреймворка в кластере и условия холодного старта serverless приложений.

Данная работа посвящена исследованию возможности применения бессерверных технологий в существующей системе с микросервисной архитектурой и разработке методологии внедрения одного из фреймворков с целью сокращения потребления ресурсов. В работе приводятся результаты тестирования получившейся системы и анализ итоговых результатов. В качестве используемого фреймворка выбран Knative.

## Обзор литературы

Бессерверные вычисления набирают популярность, так как позволяют пользователям сосредоточиться на написании бизнес-логики, а не сосредотачиваться на управлении серверами. Балдини и др. [7] подчеркнули это в обзоре сервисов от различных облачных провайдеров, предоставляющих возможность работы с бессерверными технологиями. В своем исследовании авторы описали примеры использования таких приложений и обозначили возможные сложности работы с бессерверными вычислениями. Подобные работы были проведены Линном и др. [8], Ли и др. [9], Шилакером и др. [10] и Ллойдом и др. [11]. Однако данные исследования в основном сосредоточены на сравнении различных FaaS и SaaS сервисов между собой.

Моханти и др. [12] в своей работе проводят комплексное сравнение характеристик популярных фреймворков для бессерверных вычислений. Авторы проводят оценку производительности для таких фреймворков как Fission, Kubeless и OpenFaaS. Критикос и др.

[13] тоже провели сравнение характеристик бессерверных фреймворков, но выбрали других представителей: IronFunctions, Sparta, Fn. Аналогичные исследования представили Паладе и др. [14] и Ли и др. [15]. В этих исследованиях к обзору уже известных фреймворков добавляется новый фреймворк от Google — Knative. Авторы сходятся во мнении, что Knative является перспективным фреймворком с хорошими характеристиками производительности и возможностью автомасштабирования в ноль экземпляров.

Knative — это корпоративное решение с открытым исходным кодом для создания бессерверных и event-driven приложений [16]. Knative был разработан компанией Google в 2018 году, а теперь поддерживается как open-source проект. Несмотря на то, что Knative достаточно молодой фреймворк, его активно применяют в разных сферах: машинном обучении [17, 18], интернете вещей [19, 20], биоинформатике [21], решении задач мониторинга [22] и других.

Ванг и др. в [19] также рассматривают возможность применения Knative в системе микросервисов, проводят анализ как количество и тип микросервисов влияют на производительность. Их результаты показывают, что бессерверный подход в итоге действительно помогает оптимизировать расход ресурсов по отношению к традиционному подходу облачных вычислений. Каллас и др. [23] в своём исследовании представили новый фреймворк для перевода микросервисных приложений, написанных на Python, в бессерверный режим. Разработанный фреймворк управляет жизненным циклом новых сервисов и работает на основе технологии Knative.

В основном исследования, связанные с Knative, разбирают вопросы эффективности использования бессерверного подхода в рамках одного приложения или набора тестов. Применимость Knative в системах связанных микросервисов ещё мало изучена.

## Обзор Knative

В качестве self-hosted фреймворка для работы с бессерверными приложениями был выбран Knative [24], потому что он отлично интегрирован с Kubernetes и поддерживает “scale-to-zero”, то есть возможность автомасштабирования в 0 реплик сервиса, а значит сервис полностью перестаёт потреблять ресурсы. Также фреймворк умеет ограничивать ресурсы, потребляемые функциями. Knative бесплатен для использования, распространяется по открытой лицензии Apache 2.0 и имеет активное сообщество и постоянные релизы.

Knative состоит из двух независимых компонент, которые могут использоваться как вместе, так и раз-



Таблица 1. Описание типов микросервисов.

Тип сервиса	Потребление CPU в пассивном режиме, cores	Потребление CPU в активном режиме, cores	Потребление RAM, MiB	Критичность затрат на холодный старт	Время работы сервиса	Количество сервисов данного типа
A	0.1	0.5–1.5	300–500	Средний	10%	7
B	0.1	0.2–0.5	36–100	Высокий	10%	2
C	0.1	1	900	Высокий	90%	2
D	0.05	0.2	64	Низкий	1%	1

дельно. Компоненты Serving предназначены для управления бессерверными приложениями, в том числе процессами деплоя и автомасштабирования. Компоненты Eventing предназначены для разработки и управления системами приложений, построенных в событийно-ориентированной архитектуре. Все компоненты Knative определяются через набор пользовательских определений ресурсов (CRD), каждое из которых отражает подмножество функциональных требований для приложения Knative.

Основными ресурсами Knative Serving являются сервисы — они управляют жизненным циклом приложения, контролируют создание других объектов и направляют трафик.

Основными ресурсами Knative Eventing являются источники событий, брокеры и триггеры. Источники событий создают сообщения на основе заданных фильтров. Брокер предоставляет канал для передачи событий между источником событий и потребителем. Триггер предоставляет механизм подписки на события из определенных источников событий.

Потребителем событий может выступать любой ресурс, который удовлетворяет одному из интерфейсов Kubernetes Addressable или Callable.

#### Описание существующей системы

Исходная система состоит из 12 микросервисов. Для обеспечения связи между микросервисами используется собственный service-mesh, базирующийся на Envoy. Сервисы взаимодействуют друг с другом посредством REST запросов, а также через websockets и gRPC. Все сервисы поддерживают режим масштабирования в несколько экземпляров, работающих параллельно. В системе присутствуют приложения, написанные на языках Go, Java Spring и Java Quarkus. Деплой сервисов системы в Kubernetes происходит с помощью

инструмента Helm. Конфигурации для деплоя описаны в YAML файлах, базовыми сущностями являются Deployment и Service [25].

В системе можно выделить базовые типы микросервисов, представленные в таблице 1.

При работе с бессерверными технологиями необходимо учитывать затраты на “холодный старт” приложения. Холодный старт — время, затрачиваемое системой на создание нового контейнера при первом обращении к функционалу. Проблема холодного старта не всегда является критичной для бессерверного направления, так как для некоторых приложений задержка запуска на несколько секунд не представляет проблем.

#### Методология внедрения

Алгоритм внедрения бессерверных технологий в существующую систему микросервисов выглядит следующим образом:

1. Установка компонент Knative в кластер при необходимости
2. Адаптация существующих микросервисов к бессерверному режиму
3. Деплой обновлённых микросервисов в кластер

#### Установка компонент Knative в кластер при необходимости

Компоненты Knative необходимо установить заранее или при первом запуске. Компоненты Serving и Eventing не зависят друг от друга и могут быть установлены в разное время. Все объекты Knative имеют кластерную область видимости, то есть после установки доступ к ним возможен из любых неймспейсов кластера.

- ◆ компонента Serving нужна для включения возможности автомасштабирования экземпляров сервиса

Таблица 2. Описание различий между Deployment и Knative Service.

Секция изменений	Deployment	Knative Service	Комментарий
Заголовок	kind: Deployment apiVersion: apps/v1	kind: Service apiVersion: serving.knative.dev/v1	Вместо Deployment используется новый объект Service
Секция spec	replicas: X	-	Секция с количеством реплик сервиса отсутствует, потому что цель использования Knative — автомасштабирование в зависимости от нагрузки
Секция nodeSelector	nodeSelector:...	-	Отсутствует возможность запуска экземпляра на определенном узле, Knative сам выбирает в зависимости от доступных ресурсов
Секция affinity	affinity.podAntiAffinity: ...	-	Отсутствует возможность задавать startupProbe, при старте Knative ориентируется на встроенные метрики для определения состояния сервиса
Пробы	- livenessProbe - readinessProbe - startupProbe	- livenessProbe - readinessProbe	

- ◆ компонента Eventing позволяет объединять бессерверные приложения в последовательности вызовов

### Адаптация существующих микросервисов к бессерверному режиму

Knative Services являются ресурсом Kubernetes и принадлежат к группе serving.knative.dev. Спецификация этого объекта практически полностью совпадает со спецификацией ресурса Deployment, за исключением некоторых полей. Различия между спецификациями отражены в таблице 2.

Если внести все указанные изменения в исходный Deployment.yaml, получим готовую к деплою конфигурацию исходного сервиса в бессерверном формате. Также ресурс Knative Service управляет всеми своими ревизиями и трафиком через них, а значит надобность в ресурсе Service отпадает и его можно удалить из проекта.

При переводе сервиса в бессерверный режим необходимо учитывать следующие особенности:

- ◆ Автомасштабирование запускается только через HTTP запросы. Взаимодействие по протоколам websockets и gRPC будет осуществляться только пока сервис работает после http вызова.
- ◆ Контейнер не имеет состояния, поэтому все данные должны быть воспроизводимыми или сохраняться во внешнем хранилище.

- ◆ Приложение может использовать только тома Secret и ConfigMap.

### Деплой обновлённых микросервисов в кластер

Развертывание обновлённой системы в кластере Kubernetes возможно любым способом, отличий от обычной системы микросервисов нет. Для корректной работы Knative Serving необходимо дополнительно сконфигурировать сетевой слой. Сетевой слой отвечает за маршрутизацию запросов.

Каждый сервис необходимо зарегистрировать в сетевом слое, чтобы envoy обновил свои таблицы маршрутизации. При использовании сетевого слоя, предоставляемого командой Knative это будет сделано автоматически. При использовании собственного service-mesh нужно отправить запрос регистрации необходимых маршрутов трафика на API control-plane. Чтобы сетевой слой мог работать с Knative, он должен базироваться на envoy-proxy сервисе.

### Результаты перевода

Исследование проводилось в кластере Kubernetes. Ресурсы кластера 16 CPU и 32 ГБ RAM. Версия Kubernetes v1.23.10. Заранее была проведена установка ресурсов Serving и Eventing.

В таблице 3 представлены результаты замеров потребляемых ресурсов до перевода всех микросерви-

Таблица 3. Сравнение потребления ресурсов кластером.

	Потребление RAM, ГБ	Потребление CPU в режиме без нагрузки	Потребление CPU в режиме нагрузки
До перевода на Knative	4.1	1.1	8
После перевода на Knative	4.2	1.1	11

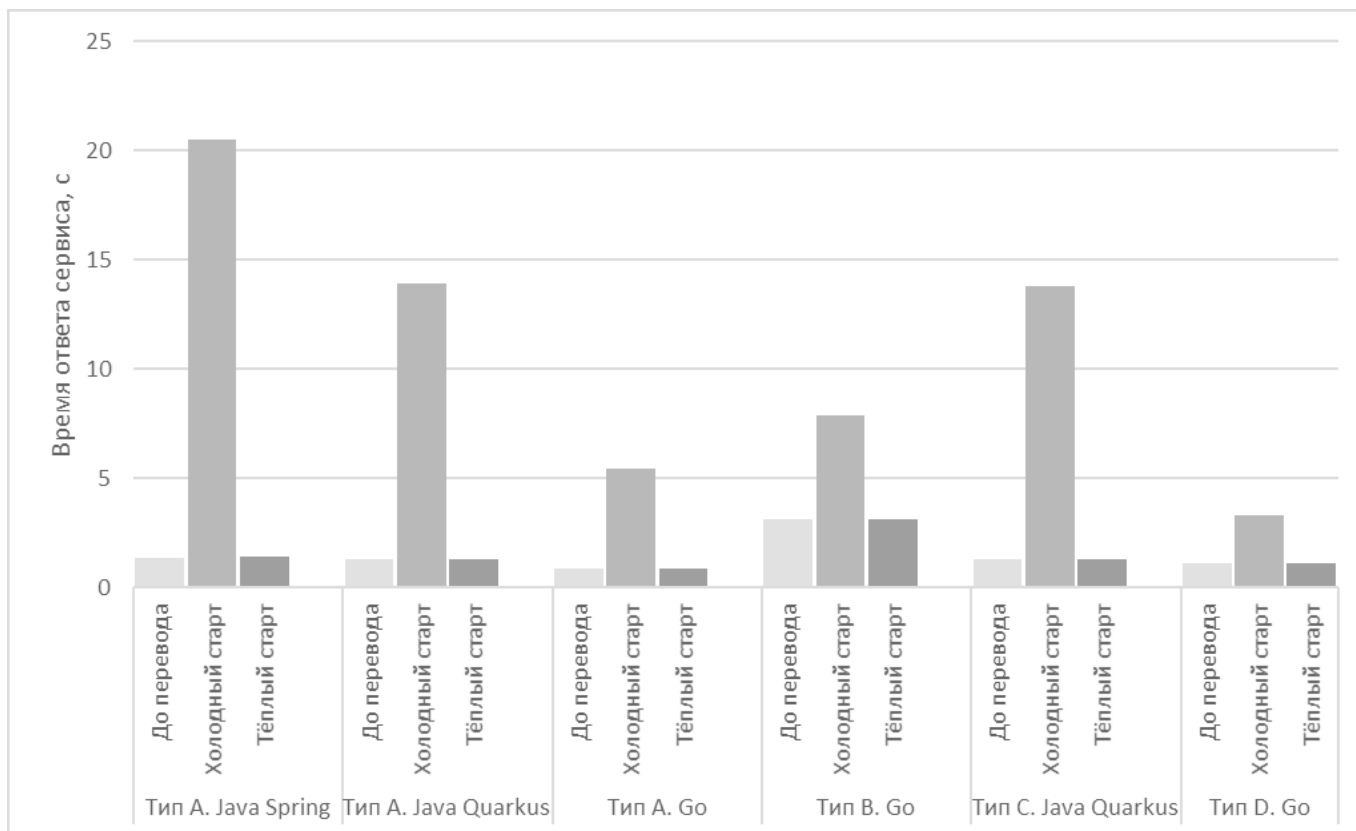


Рис. 1. Время ответа сервиса в зависимости от режима тестирования

сов в бессерверный режим и после. Замеры CPU проводились в двух режимах, при отсутствии нагрузки и при нагрузке 10 запросов в секунду к каждому сервису с открытым API.

При переходе на использование Knative необходимо учитывать, что сам фреймворк использует часть ресурсов кластера. Документация предполагает, что для устойчивой работы Knative необходимо 2 CPU и 4 ГБ RAM. Во время проведения исследования фреймворк занял 1 CPU и 2 ГБ RAM.

За счёт этой надбавки случился проигрыш по RAM после перехода на Knative. К тому же у каждого Knative Service при старте запускаются два контейнера: один с экземпляром приложения, а второй с прокси сервисом, необходимый для корректной работы автомасшта-

бирования. Этот прокси контейнер занимает порядка 50 МБ и вносит свой вклад в общую потребляемую память.

Достигнуть выигрыша по CPU тоже не удалось. В режиме простоя потребление CPU примерно одинаковое, но в обычной системе это из-за постоянно работающих экземпляров приложения, а в бессерверном режиме это из-за затрат на ресурсы самого Knative. В этом режиме активных экземпляров приложений нет.

В режиме повышенной нагрузки были отмечены следующие моменты:

- ♦ для некоторых сервисов автоматически были созданы дополнительные экземпляры, часть запросов обрабатывалась параллельно. Knative предоставляет возможность регулировать по-

Таблица 4. Замеры времени выполнения запросов при нагрузочном тестировании.

Тип сервиса	Допустимое время ответа, с.	Язык, на котором написан сервис	Минимальное время ответа в бессерверном режиме, с.	Максимальное время ответа в бессерверном режиме, с.
Тип А	10	Java Spring	1.3	21.4
		Java Quarkus	1.3	14.1
		Go	0.8	6.0
Тип В	3	Go	2.4	8.9
Тип С	1	Java Quarkus	1.3	14.4
Тип D	10	Go	0.8	3.3

явление дополнительных экземпляров, задавать ограничение на количество реплик или выбрать по какому принципу будет проводиться автобалансировка.

- ♦ для сервисов типа С не были заданы нужные ограничения по времени, поэтому Knative принудительно завершал выполнение задачи и уничтожал экземпляр. После дополнительного конфигурирования параметров времени выполнения проблема была решена.

На рис. 1 представлены графики среднего времени ответа микросервисов до перевода и после. Для каждого типа указан язык программирования, на котором разработаны сервисы. Для приложений в бессерверном режиме проводилось несколько замеров времени: в режиме холодного старта и в режиме, когда экземпляр приложения уже был запущен.

Как видно из представленных графиков, холодный старт ощутимо влияет на время обращения к сервису. Особенно критично это для сервисов, разработанных с использованием Java Spring, так как им для старта требуется несколько минут. В ходе эксперимента мы сталкивались с тем, что сервис не успевал полностью подняться и обработать запрос, а Knative уже был готов завершить работу экземпляра по таймауту. Однако в случае тёплого старта, бессерверные сервисы обрабатывают запросы в течение того же времени, что и в обычном режиме.

## Тестирование

Переведённую на использование Knative систему необходимо было протестировать. Было проведено несколько видов тестирования: интеграционное для проверки отсутствия регрессии функционала и нагру-

зочное для проверки эффективности работы системы под нагрузкой.

Исследование проводилось в кластере Kubernetes. Ресурсы кластера 16 CPU и 32 ГБ RAM. Версия Kubernetes v1.23.10. Перед каждым видом тестирования из кластера удалялись все ресурсы и заново устанавливалась нужная версия системы. Запросы к кластеру отправлялись с рабочей машины с процессором CPU AMD Ryzen 7 PRO 4750U with Radeon Graphics, 8 CPU, 32 ГБ RAM.

В качестве интеграционных тестов использовался существующий набор тестов, которые используются для проверки работоспособности исходной системы. Все обращения к сервисам проходят через service-mesh, поэтому не понадобилось вносить изменений в существующие методы.

Был выполнен полный набор тестов. Прохождение всех тестов заняло 1 час 54 минуты, что на 10 минут дольше среднего времени выполнения обычных тестов. Небольшое увеличение времени выполнения связано с тем, что тесты выполняются для каждого сервиса по очереди, а значит возникала ситуация "холодных стартов". Все тесты были пройдены без ошибок.

Во время тестирования производительности проводилось два исследования: способность системы работать под нагрузкой длительное время без деградации и способность обрабатывать входящие запросы за заданное время. Во время тестирования не было выявлено отказов каких-либо сервисов, но во временные рамки уложились не все запросы (таблица 4).

Из таблицы 4 видно, что холодный старт достаточно сильно ограничивает возможность применения бес-

серверных технологий. Но для сервисов типа A и D, написанных на Go и Quarkus возможные задержки укладываются в допустимые лимиты.

## Выводы

Нами была разработана и проверена методология перехода с обычной микросервисной модели на использование бессерверных технологий. Новая система была протестирована на сохранение функциональности, на способность выдерживать нагрузки и оставаться работоспособной — все тесты были пройдены с положительным результатом.

Однако эксперименты показали, что использование бессерверных технологий не всегда выгодно. Так при высокой нагрузке на сервисы все преимущества бессерверных систем нивелируются и системы могут потреблять даже больше ресурсов. Для некоторых сервисов критично время ответа, что не может быть удовлетворено средствами Knative из коробки.

В дальнейших планах определить микросервисы с какими характеристиками оптимально переводить в бессерверный режим, разработать инструменты автоматического перевода с микросервисного подхода в бессерверный.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Alam T. Cloud Computing and its role in the Information Technology // IAIC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI). 2020. Т. 1. № 2. С. 108–115.
2. Jonas E. et al. Cloud programming simplified: A Berkeley view on serverless computing // arXiv preprint arXiv:1902.03383. 2019.
3. Shafei H., Khonsari A., Mousavi P. Serverless computing: a survey of opportunities, challenges, and applications // ACM Computing Surveys. 2022. Т. 54. № 11s. С. 1–32.
4. Hussein M.K., Mousa M.H., Alqarni M.A. A placement architecture for a container as a service (CaaS) in a cloud environment // Journal of Cloud Computing. 2019. Т. 8. № 1. С. 1–15.
5. Decker J., Kasprzak P., Kunkel J.M. Performance Evaluation of Open-Source Serverless Platforms for Kubernetes // Algorithms. 2022. Т. 15. № 7. С. 234.
6. Li J. et al. Analyzing Open-Source Serverless Platforms: Characteristics and Performance // arXiv preprint arXiv:2106.03601. 2021.
7. Baldini I. et al. Serverless computing: Current trends and open problems // Research advances in cloud computing. Springer, Singapore, 2017. С. 1–20.
8. Lynn T. et al. A preliminary review of enterprise serverless cloud computing (function-as-a-service) platforms // 2017 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom). IEEE, 2017. С. 162–169.
9. Lee H., Satyam K., Fox G. Evaluation of production serverless computing environments // 2018 IEEE 11th International Conference on Cloud Computing (CLOUD). IEEE, 2018. С. 442–450.
10. Shillaker S. A provider-friendly serverless framework for latency-critical applications // 12th Eurosys Doctoral Workshop. 2018. С. 71.
11. Lloyd W. et al. Serverless computing: An investigation of factors influencing microservice performance // 2018 IEEE international conference on cloud engineering (IC2E). IEEE, 2018. С. 159–169.
12. Mohanty S.K. et al. An Evaluation of Open Source Serverless Computing Frameworks // CloudCom. 2018. Т. 2018. С. 115–120.
13. Kritikos K., Skrzypczak P. A review of serverless frameworks // 2018 IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing Companion (UCC Companion). IEEE, 2018. С. 161–168.
14. Palade A., Kazmi A., Clarke S. An evaluation of open source serverless computing frameworks support at the edge // 2019 IEEE World Congress on Services (SERVICES). IEEE, 2019. Т. 2642. С. 206–211.
15. Li J. et al. Analyzing open-source serverless platforms: Characteristics and performance // arXiv preprint arXiv:2106.03601. 2021.
16. Chester J. Knative in Action. NY: Simon and Schuster, 2021. 272 С.
17. Cox C. et al. Serverless inferencing on Kubernetes // arXiv preprint arXiv:2007.07366. 2020.
18. Bac T.P., Tran M.N., Kim Y.H. Serverless computing approach for deploying machine learning applications in edge layer // 2022 International Conference on Information Networking (ICOIN). IEEE, 2022. С. 396–401.
19. Wang L., Liri E., Ramakrishnan K.K. Supporting iot applications with serverless edge clouds // 2020 IEEE 9th International Conference on Cloud Networking (CloudNet). IEEE, 2020. С. 1–4.
20. Wang I.C. et al. Towards a Proactive Lightweight Serverless Edge Cloud for Internet-of-Things Applications // 2021 IEEE International Conference on Networking, Architecture and Storage (NAS). IEEE, 2021. С. 1–4.
21. Grzesik P. et al. Serverless computing in omics data analysis and integration // Briefings in bioinformatics. 2022. Т. 23. № 1. С. 349.
22. Klaise J. et al. Monitoring and explainability of models in production // arXiv preprint arXiv:2007.06299. 2020.
23. Kallas K. et al. Executing Microservice Applications on Serverless, Correctly // Proceedings of the ACM on Programming Languages. 2023. Т. 7. № . POPL. С. 367–395.
24. Knative — Documentation: [сайт] URL: <https://knative.dev> (дата обращения: 21.01.2023).
25. Kubernetes — Documentation: [сайт] URL: <https://kubernetes.io/docs/home/> (дата обращения: 21.01.2023).

# АГРЕГАЦИЯ ТРОМБОЦИТОВ КАК ОТВЕТ НА ДИСФУНКЦИЮ ЭНДОТЕЛИЯ И ПРОДУКТЫ ДЕГРАДАЦИИ ФИБРИНА ПРИ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ

## THE PLATELETS AGGREGATION IS RESPONSE ON AN ENDOTHELIUM DISFUNCTION AND FIBRIN MONOMERS COMPLEXES IN NEW CORONAVIRUS INFECTION

V. Dubinina  
S. Pavlova

*Summary.* There are four years from the pandemic start. The data published by World health Organization on its official page "As of 8 January 2023, over 659 million confirmed cases and over 6.6 million deaths have been reported globally" [1]. Despite on active findings of effective treatment and vaccines no one hasn't yet found Therefore the understandings of coronavirus infection pathogenesis and pathological reactions by both immune and hemostasis systems is very important especially the comprehensive of processes named immuno- thrombosis [2,3]. So the appearance aggregation of platelets and fibrin- related markers is on early stage of pathology process and authors try to underline the actuality of those investigations for adequate both treatment and sequels prevention.

*Keywords:* coronavirus infection, Sars-cov-2, immuno- thrombosis, platelets, fibrin-monomers complexes.

**Дубинина Виктория Васильевна**

Доцент, Дальневосточный государственный  
медицинский университет, г. Хабаровск  
vickdoctor@gmail.com

**Павлова Светлана Павловна**

Доцент, Дальневосточный государственный  
медицинский университет, г. Хабаровск  
sp-pavlova@mail.ru

*Аннотация.* С начала пандемии коронавирусной инфекции прошло 3 года и на 8 января 2023 года общее количество заболевших соответствует 659 миллионам, количество тотальной смертности 6,6 миллионов человек [1]. Несмотря на активные поиски фармакологических компаний не найдены ни эффективные препараты, ни вакцины, которые предотвратили бы распространение инфекции. Важно понимание патофизиологии коронавирусной инфекции, участие иммунной системы и системы гемостаза в процессе, который уже назвали иммунотромбозом [2,3], и который можно обнаружить уже на ранних стадиях инфекции в виде агрегации тромбоцитов и продуктов фибринолиза, анализ данных показателей будет актуален для адекватного патогенетического лечения и профилактики осложнений.

*Ключевые слова:* инфекция, тромбоциты, агрегация, фибринолиз, растворимые фибрин- мономерные комплексы, иммунотромбоз.

**П**андемия новой коронавирусной инфекции (НКИ) для всего мира поставила множество вопросов, на которые и спустя три года нет достаточно точного ответа. Патофизиологические механизмы, обусловленные металлопротеиназами, одной из которых является ангиотензинпревращающий фермент, и именно рецепторы для него представляют входные ворота для НКИ, они присутствуют практически во всех тканях организма; и те каскадные реакции многих систем, которые развиваются на распад того же белка тромбина или реакции других сериновых протеаз, приводят к тяжелым последствиям, так как антипротеаз самого организма недостаточно и компенсаторный механизм ответных реакций приводит к еще большим последствиям. Страшен не вирус, а запуск той же системы комплемента и гемостаза, ответный каскад которых активируется протеазами и сопровождается рядом запрограммированных клеточных и системных процессов, приводящих к тромбозу и в дальнейшем к деграда-

ции продуктов фибринолиза, и уже защитные реакции реализуют более негативные последствия для организма хозяина, в этом, помимо других клеток, активное участие принимают и тромбоциты.

Тромбоциты- удивительные клетки, и даже не клетки- в них нет ядра, синтезировать белки они могут и при помощи одной мРНК, это — по сути своей пластины- части мегакариоцитов, но помимо костного мозга, на сегодняшний день доказано их образование и в легких, где они генерируются из мегакариоцитов, для последних легкие являются резервуаром. Тромбоциты участвуют во многих реакциях организма, помимо своей известной функции в процессах гемостаза, они участвуют в воспалительных реакциях, выделяя белки для привлечения макрофагов, нейтрофилов, эозинофилов, непосредственно сами способны участвовать в реакциях врожденного иммунитета, при помощи набора биологически активных веществ, содержащихся

в их гранулах. Тромбоциты способствуют целостности базального барьера альвеолярных капилляров, что избирательно ограничивает перенос воды, белков и эритроцитов из сосудов. Тромбоциты также способствуют восстановлению сосудов легких [3]. Хотя тромбоциты усиливают кровоостанавливающую и воспалительную защиту здорового легкого, экспериментальные и клинические данные показывают, что эти клетки крови являются эффекторами повреждения при различных легочных расстройствах и синдромах [3,5].

Помимо этого, тромбоциты участвуют в иммунных реакциях, дополняя нейтрофильное воспаления, которому способствует провоспалительные цитокины, хемокины и липидные медиаторы. Самое важное условие для восстановления тканей после острого воспаления — это производство противовоспалительных факторов тромбоцитами, кооперация и кросс реакции с теми же альвеолярными макрофагами и фибробластами. Как известно, тромбоцит на своей клеточной мембране несет ряд рецепторов, посредством которых он общается с окружающими клетками или воспринимает информацию от высоко аффинных молекул, каковыми являются, например, молекулы адгезии эндотелия [4]. На мембране тромбоцитов присутствует огромное количество рецепторов, что подчеркивает их активное участие в большинстве процессов организма:  $\alpha$ - и  $\nu$ -адренорецепторы, рецепторы для тромбина, ламинина, витронектина, фибриногена, фибронектина, молекул адгезии, серотонина, стоит отметить, что до 99% всего серотонина организма депонировано в плотных гранулах тромбоцитов [5]. Для нашей работы важно упомянуть пуриноэргические рецепторы P<sub>2</sub>Y и они же для фактора Виллебранда, и гликопротеиновые рецепторы к коллагену, которые важны именно при эндотелиальной дисфункции. Известно, что тромбоциты способны к генерации отпочковыванием новых пластин и всегда быстро реагируют на внеклеточные сигналы и клеточное окружение [5]. Учитывая то, что резервуаром для мегакариоцитов является легкое, степень взаимодействия с эндотелиальными клетками легочных капилляров новой генерации тромбоцитов при коронавирусной инфекции может быть показателем прогноза, в том числе и осложнений в виде фиброза. Так как недостаточно механизмов, тормозящих и влияние самих сериновых протеаз, так и механизмов, уменьшающих негативные последствия компенсации от запрограммированных клеток- тромбоцитов и фибробластов. Недавно обнаруженные биологические способности тромбоцитов изучаются в контексте защиты легких, болезней и ремоделирования. Взаимодействия со многими клетками- особенно с макрофагами и фибробластами и активацию под действием молекул адгезии выброса тканевого фактора моноцитами или под действием трансформирующего фактора роста бета преоб-

разование фибробластов в миофибробласты, которые будут продуцировать коллаген и, как следствие, возникает необратимый фиброз. В одной из работ показано взаимодействие тромбоцитов и моноцитов в сравнении тяжелой и среднетяжелой НКИ, выявлена корреляция увеличения фибриногена, ИЛ-6, С — реактивного протеина и D- димера с агрегацией тромбоцитов и их взаимодействием через селектины с моноцитами [6]. В другой работе обсуждается роль нейтрофилов и фибробластов, как мезенхимальных клеток с продукцией коллагена. их взаимодействие с клетками эндотелия и доступностью того же соединительнотканного белка для активации тромбоцитов в процесс алгезии и дальнейшей агрегации [7] В работе китайских исследователей из Уханьского центра было показано, что продукты деградации фибринолиза в высоких измеряемых величинах являются предиктом худшего прогноза у больных с НКИ [8]. Поэтому изучение роли тромбоцитов играет ключевую роль в понимании патогенеза новой коронавирусной инфекции, также, как и изучение показателей не только тромбоцитарного гемостаза, но и фибринолиза для того, чтобы оценить тяжесть и прогноз у конкретного больного.

Таким образом, целью данной работы явилось исследование одной из важных функций- агрегации тромбоцитов. В качестве исследуемых стимулов в первую очередь был выбран белок коллаген, так как именно агрегация тромбоцитов с коллагеном покажет выраженность эндотелиальной дисфункции, так же, как и агрегация с ристомицином, реакция на аденозиндифосфат покажет работу рецептора фактора Виллебранда и его активацию при гиперкоагуляции. Показатели фибринолиза были изучены с использованием анализа на D — димер и фибрин- мономерные комплексы как продукты деградации фибрина.

## Материалы и методы

Было обследовано 26 больных, в возрасте 28–48 лет без хронических заболеваний, по гендерному признаку 14 женщин и 12 мужчин. с подтвержденной НКИ методом полимеразно — цепной реакции с чувствительностью 500 генокопий в мл, тест- система «Виктор Бест», соответственно все больные были разделены на 2 группы: с легким (I группа) и средне-тяжелым (II группа) течением коронавирусной инфекции по критериям временных методических рекомендаций [9]. Пневмонит был подтвержден у 18 человек с легким и средне-тяжелым клиническим течением НКИ и соответствовал лучевой КТ тяжести 1–2. В группе 1–11 человек с легкой клинической степенью тяжести и в группе II- 8 человек со средне-тяжелой степенью. Остальные 7 пациентов (группа III) наблюдались с превалированием аносмии и автоматически отнесены к легкому течению новой

коронавирусной инфекции. Все наблюдаемые пациенты были обследованы в период с 4 по 8 день болезни, находились на амбулаторном лечении и не получали антиагреганты или антикоагулянты на момент обследования.

Агрегация тромбоцитов была воспроизведена на современном агрегометре, принцип определения в котором оптическая агрегатометрия. Венозную кровь смешивали с цитратом натрия в соотношении 9:1 и центрифугировали для получения плазмы, обогащенной тромбоцитами при скорости 1000 оборотов в минуту в течении 10 минут. Через активированную индукторами агрегации плазму пропускали свет, и при активном построении конгломератов из тромбоцитов оптическая плотность изменяется, прозрачность плазмы без тромбоцитов увеличивается, этот процесс четко регистрируется прибором в виде волн и рассчитывается далее автоматически в количественных единицах. Аденозиндифосфат позволяет судить о работе пуриnergических рецепторов, коллаген и ристомидин об имеющейся эндотелиальной дисфункции, адреналин соответственно стимулирует тромбоциты через адренорецепторы.

Помимо теста на агрегацию, были изучены и продукты фибринолиза и фибриноген. Метод изучения фибрин-мономерных комплексов достаточно прост, но требует четкого временного промежутка — от забора крови до выполнения анализа должно быть менее 60 минут. РФМК определяют при помощи альфа-фенантролина, который добавляют к обеднённой тромбоцитами плазме и смотрят как образуется фибрин. В норме содержание РФМК в плазме по количественному варианту методики составляет в среднем  $3,38 \pm 0,02$  мг/100 мл (или 3,38 мг%), с верхним пределом нормы 4,0 мг/100 мл или 4 мг%. Повышение уровня РФМК характерно для активации свертывания крови, причем, чем больше их концентрация, тем выше риск внутри-сосудистого тромбообразования. В нашем случае мы попытались выявить корреляционную зависимость между повышением РФМК и тяжестью состояния про НКИ, при чем с наличием выраженной эндотелиальной дисфункции или без неё.

Статистическая обработка результатов была произведена на программе «Statistica –5» с использованием средних арифметических значений с ошибкой и степенью свободы в том числе для непараметрических данных, критерия Стьюдента. Корреляционный индекс Пирсона рассчитывали по формуле в программе и интерпретировали коэффициент корреляции от нуля до единицы и выше, как положительную прямую связь с градацией: слабая (0,01–0,24), средняя (0,25–0,49) высокая (0,50–0,74) или очень высокая (0,75–1).

## Результаты и обсуждение

Продукты фибринолиза были обнаружены повышенными у всех обследованных пациентов без исключения, с минимальными цифрами в 7,5 мг/% и максимальными 22,4 мг%. Все полученные показатели мы разделили на 2 группы: с умеренно повышенными цифрами от 7,5 до 10 мг/%, что по времени образования паракоагулята в виде фибрина соответствовало от 30 секунд до 19 секунд; и повышенными от 11 мг/% до 20 мг%, что соответствовало от 18 секунд до 9 секунд времени образования фибрина. Результаты исследования приведены в таблице 1.

У больных II группы зафиксирован высокий уровень продуктов деградации в виде фибрин-мономерных комплексов, который соответствовал показателям от 11 до 22,4 мг%, средний показатель при этом  $15,13 \pm 3,51$ . Также отметим: что в большинстве наблюдений, что соответствовало 92,3% D-димер в пределах нормы. У пациентов 1 группы с легким клиническим течением пневмонита уровень РФМК был в пределах умеренных цифр и в среднем составил  $8,13 \pm 0,45$  мг%. У пациентов с аносмией (III группа) показатели достоверно не отличались от пациентов с легкой степенью тяжести при наличии пневмонита и соответствовали  $8,21 \pm 2,12$  мг%. D-димер был повышенным в 2 случаях клинически средне-тяжелого течения пневмонита, рентгенологически КТ-1 — при этом уровень РФМК был умеренно повышенным: в одном случае. 8 мг% и в другом- 9 мг%. Исходя из проведенного анализа, можно сделать вывод о значительном повышении РФМК при средне-тяжелой степени течения пневмонита, достоверно отличающимся от нормы и от показателей РФМК при легком течении и при аносмии. Рассчитанный коэффициент корреляции Пирсона выявил прямую положительную связь тяжелого клинического течения пневмонита и уровня РФМК и соответствовал  $r=0,77$  и не выявил такой же по силе связи в зависимости от поражения легких в 10, 25 или 40 процентов поражения и уровнем РФМК.

Уровень фибриногена был нормальным, не превышал 4 г/л у всех наблюдаемых пациентов, этому соответствовало и отсутствие лейкоцитоза, и повышенной СОЭ. Однако согласно исследованию, проведенному китайскими учеными в Ухани, уровень фибриногена был достоверно ниже ( $<1$  г/л) у скончавшихся пациентов по сравнению с выжившими пациентами [8]. Возможно, активное потребление этого острофазового белка при нейтрофильных ловушках или нетозе и дальнейшей гиперкоагуляции вплоть до развития ДВС у умерших пациентов.

Также стоит отметить, по данным многочисленных исследований, что несмотря на гиперкоагуляцию,



Таблица 1.

Показатели	I n=11	II n=8	III=7	Норма
РФМК, мг/%	8,13±0,45	15,13±3,51*	8,21±1,12	До 4
Фибриноген, г/л	2,5±0,55	3,11±1,25	2,5±0,76	2–4
Д- димер, нг/мл	150,35±78,51	1782,3±102,1** ^	145:24±80,67	33,7–746

Примечание к таблице: ^- повышение у 2 пациентов; \* t= 1,997, p<0,05; \*\*t= 14,1; p<0,001

Таблица 2. Агрескрин

Показатель	Группа I, n=6	Группа II, n=5	Группа III	Норма
Агрегация с ристомидином	—	15,30, n=1	14,71, n=1	7,50–10,20
Агрегация с коллагеном	15,62, n= 4	17,53, n=4	—	6,60–12,80
Агрегация с АДФ	12,30, n=2	11,58, n=1	—	5,70–9,50
Агрегация с адреналином	—	13,26, n=1	—	5,40–8,50

развертывание стадий ДВС наблюдается только при присоединении вторичной бактериальной инфекции и развитии сепсиса. В нашем исследовании уровень фибриногена у пациентов с легкой и тяжелой степенями течения НКИ достоверно не отличался и соответствовал  $2,5\pm 0,9$  и  $3,11\pm 1,25$  и в каждом случае укладывался в норму. Данные показатели наблюдались при высоком уровне РФМК и даже у 2 пациентов с повышенным уровнем Д- димера.

Агрегация тромбоцитов выявила неоднозначные нарушения, которые показали себя различными при использовании индукторов, повышение агрегации на стимул коллагена и/ или ристомидина свидетельствует о выраженной эндотелиальной дисфункции, и требует профилактики фиброза в дальнейшем. Повышение агрегации на аденозиндифосфат показывает ответ пуриnergических рецепторов и обосновывает препараты, работающих на уменьшении агрегации тромбоцитов через эти рецепторы, например, клопидогрел. В нашем исследовании на агрегацию, в отличие от 100 процентного повышения РФМК, активация агрегации тромбоцитов была зафиксирована всего у 12 больных, при чем всего лишь у 5 со средне-тяжелой и у 7 с легкой степенью тяжести инфекции. У восьми пациентов выявлено моно повышение агрегации тромбоцитов с коллагеном, у двух с аденозиндифосфатом, у одного с ристомидином, при чем при легкой степени тяжести и при клинически выраженной аносмии, но не пневмоните. и у одного пациента со средне-тяжелым клиническим течением повышение агрегации было зафиксировано с коллагеном, с ристомидином, адреналином и с АДФ. Полученные данные отражены в таблице № 2.

## Выводы

Согласно результатам нашего исследования наилучшим прогностическим фактором и легко воспроизводимым лабораторно, являются продукты деградации фибрина, при чем для амбулаторного звена значимыми оказались фибрин- мономерные комплексы, нежели чем Д — димер. При этом контроль через месяц от заболевания показывал уровень РФМК в норме и что коррелировало с рентгенологической картиной- не было выявлено фиброзирующих изменений после адекватного лечения, направленного именно на купирование изменений показателей, в том числе агрескина. При выявлении повышения агрегации с коллагеном нами опытным путем, согласно патофизиологическому механизму, были назначены препараты, блокирующие серотониновые рецепторы тромбоцитов, которые тормозили выработку трансформирующего фактора роста бета для фибробластов, далее продуцирующих коллаген одного типа и способствующих фиброзу. И самое интересное, что тромбоциты — те клетки, которые участвуют в генерализованном процессе воспаления посредством взаимодействия с другими клетками и биологически активными веществами и уже без участия вируса, последний лишь запустил процесс. По данным литературы в некоторых посмертных исследованиях пациентов с COVID-19 было обнаружено мультифокальное микрососудистое эндотелиальное повреждение мозга без каких-либо признаков SARS-CoV-2 в мозге, что указывает на косвенное воздействие через защитные механизмы хозяина. Найдены доказательства того, что ковид-ассоциированная коагулопатия предполагает сложные дисрегулируемые взаимодействия между воспалительной, иммунной, коагуляционной, фибринолитической,

ческой, комплементарной и калликреин-кининовой системами. Эта связь врожденного иммунного ответа со свертыванием крови — в частности, в микрососудах, где дисфункция эндотелиальных клеток способствует образованию тромбов и воспалению,— была названа «иммунотромбозом» [2]. Таким образом, авторами доказана важная роль данных методов исследования,

в частности продуктов распада фибринолиза и агрегации тромбоцитов, особенно с коллагеном и ристомицином. Данные требуют дальнейшего исследования и назначения терапии, согласно выявленным изменениям в системе коагуляции, дифференцированный подход к антиагрегантам, направленными на определенные рецепторы тромбоцитов или антикоагулянтам.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. World Health Organization/ официальный сайт who.int/ situation report, weekly epidemiology report 11–18.01.2023.
2. Григорьева О.В. Исследование ковид- ассоциированной коагулопатии. Что известно и что предстоит узнать? Медицинский вестник, Беларусь, сентябрь 2022.
3. Andrew S., Weyrich 1, Guy A Zimmerman. Platelets in lung biology// Epub 2012. Oct 1. PMID: 23043249 PMCID: PMC3670819 DOI: 10.1146/annurev-physiol-030212-183752. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23043249/>
4. Алиев М.А., Купша Е.И. Эндотелий. Его роль в миграции лейкоцитов// Международный студенческий научный вестник. — 2018. — № 6.
5. <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19278> (дата обращения: 07.01.23) .
6. Серебрянная Н.Б., Шанин С.Н., Фомичева Е.Е., Янцени П.П. Тромбоциты как активаторы и регуляторы различных воспалительных и иммунных реакций// Медицинская иммунология.2018.Т. 20,№ 6.С.785–796.
7. Eugenio D. Hottz, Isaclaudia G. Azevedo-Quintanilha, Lohanna Palhinha, Lívia Teixeira, Ester A. Barreto, Camila R.R. Pão, Cassia Righy, Sérgio Franco, Thiago M.L. Souza, Pedro Kurtz, Fernando A. Bozza, Patrícia T. Bozza Platelet activation and platelet-monocyte aggregate formation trigger tissue factor expression in patients with severe COVID-19// J. Blood, September 10, 2020.
8. Tang N, Li D, Wang X, Sun Z. Abnormal coagulation parameters are associated with poor prognosis in patients with novel coronavirus pneumonia. J Thromb Haemost. 2020;18 (4):844–847.
9. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China / C. Huang, Y. Wang, X. Li [et al.] . — Text (visual): unmediated // Lancet. — 2020. — Vol. 395. — P. 497–506.
10. Временные методические рекомендации по лечению новой коронавирусной инфекции 16 пересмотра, август 2022.

---

© Дубинина Виктория Васильевна ( vickdoctor@gmail.com ), Павлова Светлана Павловна ( sp-pavlova@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОЦЕНКА ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ПОЛОСТИ РТА СРЕДИ НАСЕЛЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ МОРДОВИЯ

## ASSESSMENT OF THE ONCOLOGICAL MORBIDITY OF THE ORAL CAVITY AMONG THE POPULATION IN THE REPUBLIC OF MORDOVIA

**E. Eliseikina  
E. Semeleva  
T. Kurmysheva  
Ya. Lukicheva**

*Summary.* This work is due to the high prevalence of dental morbidity among the population, high mortality, as well as large economic losses. The occurrence of precancerous diseases and malignant neoplasms of the oral cavity is preceded by non-compliance with a set of sanitary and hygienic measures, which includes the elimination of harmful household habits, proper nutrition, oral hygiene, high-quality sanitation of the oral cavity. The importance of this problem indicates the need to improve the methods of diagnosis and prevention, to increase the degree of "oncological alertness" of both dentists and patients themselves. In this regard, a statistical analysis of the data of patients' medical records was carried out on the basis of the State Medical Institution of the Republic of Moldova "Republican Oncological Dispensary". The need for medical care for oncostomatological patients is increasing every year due to the intensive growth of oncological processes in the oral cavity.

*Keywords:* dental morbidity, oral cavity, population.

**Елисейкина Елена Валерьевна**

Ассистент, Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет им.

Н.П. Огарёва

trifan.elena2994@gmail.com

**Семелева Елена Владимировна**

Доктор медицинских наук, Национальный  
исследовательский Мордовский государственный  
университет им. Н.П. Огарёва

shtanina37@mail.ru

**Курмышева Татьяна Викторовна**

Кандидат биологических наук, доцент,  
Национальный исследовательский Мордовский  
государственный университет им. Н.П. Огарёва

Tatkurmysheva@mail.ru

**Лукичева Яна Сергеевна**

Национальный исследовательский Мордовский  
государственный университет им. Н.П. Огарёва

koshmanovayana@gmail.com

*Аннотация.* Актуальность данной работы обусловлена высоким уровнем распространенности онкостоматологической заболеваемости среди населения, высокой летальностью, а также большими экономическими потерями. Возникновению предопухолевых заболеваний и злокачественных новообразований полости рта предшествует несоблюдение комплекса санитарно-гигиенических мероприятий, который включает устранение вредных бытовых привычек, правильное питание, выполнение гигиены полости рта, качественную санацию полости рта. Важность данной проблемы говорит о необходимости усовершенствования способов диагностики и профилактики, повышения степени «онкологической настороженности» как врачей стоматологов, так и самих пациентов. В связи с этим на базе ГБУЗ РМ «Республиканский онкологический диспансер» был проведен статистический анализ данных медицинских карт пациентов. Потребность в медицинской помощи онкостоматологических больных повышается с каждым годом из-за интенсивного роста онкологических процессов в полости рта.

*Ключевые слова:* онкостоматологическая заболеваемость, полость рта, население.

### Введение

**З**локачественные новообразования полости рта и ротоглотки составляют до 15% всех стоматологических заболеваний человека, причем абсолютное число пациентов с таким диагнозом растит ежегодно. Встречаются у мужчин чаще всего в возрасте

от 40 до 60 лет и в 4 раза чаще, чем у женщин [1, с.1274; 2, с.88; 3, с.54; 7, с.82].

Среди других онкопатологий злокачественные новообразования локализованные в полости рта находятся на 14-м месте по Республике Мордовия. Несмотря на то, что опухоли полости рта не занимают одно

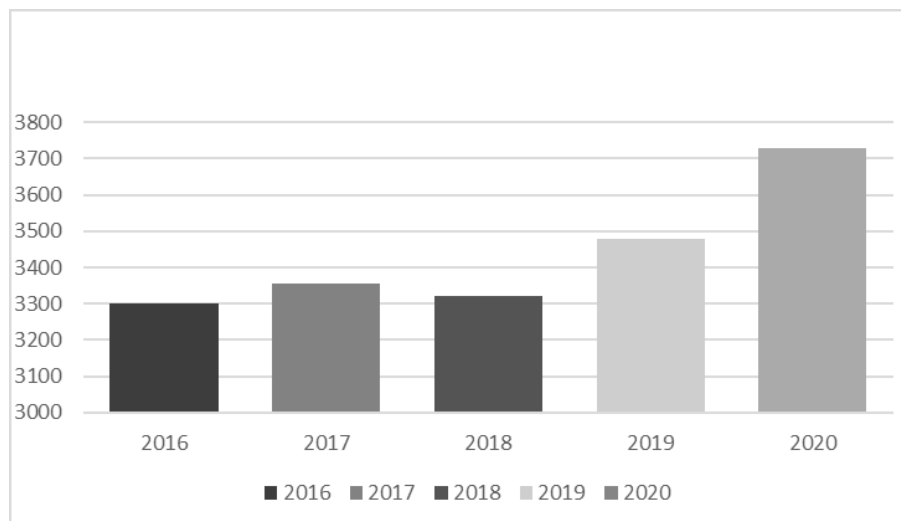


Рис. 1. Общая онкологическая заболеваемость в Республике Мордовия в период с 2016 год по 2020 год

из ведущих мест среди большого количества опухолей других локализаций, это является актуальной проблемой в настоящее время, поэтому необходимо вплотную заниматься этим вопросом и развивать медицину в Республике Мордовия именно в этом направлении, чтобы пациенты не были вынуждены уезжать на лечение в другие регионы нашей страны [4, с.14; 5, с.138; 10, с.11].

Численность населения Республики Мордовия по данным Росстат составляет 795504 человек (2020 г.). По статистическим данным за последние 5 лет с 2016 по 2020 года из-за опухолей, локализованных в полости рта, умерло 220 человек. Злокачественные новообразования в челюстно-лицевой области, а именно в полости рта, очень распространенная патология среди данной группы больных [6, с.26; 8, с.120; 9, с.435].

#### Цель исследования

Улучшение качества оказания медицинской помощи пациентам с онкологическими заболеваниями полости рта.

#### Задачи исследования

1. определить распространенность и структуру онкологической заболеваемости в Республике Мордовия;
2. на основании полученных данных проанализировать нуждаемость в медицинской помощи онкологическими больными;
3. на основании Федеральных Законов, территориальных положений и других нормативных доку-

ментов выявить правила организации помощи онкологическим пациентам;

4. на основании полученных данных сделать выводы.

#### Материалы и методы

Данные по распространенности и структуре онкологической заболеваемости полости рта в период с 2016–2020 года были предоставлены ГБУЗ РМ «Республиканский онкологический диспансер» г. Саранска на основании анализа медицинских карт пациентов, опроса и выяснения анамнеза заболевания и жизни. В ходе исследования для достижения поставленной цели использовались эмпирические (сравнение) и математические (статистические) методы исследования.

Для осуществления данного исследования нами были организованы следующие группы пациентов — основная (пациенты с онкологическим заболеванием полости рта) и контрольная (здоровые пациенты).

Все пациенты были включены в исследование после получения информированного добровольного согласия. Набранные пациенты предшествующего противоопухолевого лечения, злокачественных новообразований в анамнезе и вторичных первичных раковых заболеваний.

Анамнез пациента, такой как возраст, пол, симптомы, привычки жевать/курить табак и употреблять алкоголь, был получен из больничных записей и с помощью анкеты.

Таблица 1. Данные по структуре заболевания онкологического процесса в полости рта в период с 2016 года по 2020 год по Республике Мордовия

	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год
Заболевшие	64	78	63	83	86
Одногодичная летальность	24	24	28	21	26
Умершие	41	46	36	40	57
Пятилетняя выживаемость	На учете 143 из 327	На учете 152 из 343	На учете 159 из 355	На учете 173 из 386	На учете 178 из 390

Проводилось сравнение распространенности опухолевых заболеваний Республике Мордовия за 5 лет по следующим критериям: по половой принадлежности, по возрасту, по локализации в полости рта, по нозологической структуре.

### Результаты исследования

На основании статистических данных предоставленных ГБУЗ РМ «Республиканский онкологический диспансер» г. Саранска, мы получили следующие данные: общую онкологическую заболеваемость за 5 лет, распространенность новообразований среди мужчин и женщин, данные по стадиями, структуре и опухолевого процесса в полости рта в период с 2016–2020 года в Республике Мордовия (рис.1).

Опираясь на данный график, мы можем сказать о том, что в Республике Мордовия в период с 2016 по 2020 года наблюдался рост общей онкологической заболеваемости. Судя по показателям, в 2016 году заболеваемость была самой наименьшей и составляла 3302 человека, затем наблюдается рост в течение всех 5 лет до 3728 человек в 2020 году.

Пик заболеваемости приходится на 2020 год. В период с 2016 года по 2020 год рост общей онкологической заболеваемости в Республике Мордовия составил 14,9%.

На основании статистических данных предоставленных ГБУЗ РМ «Республиканский онкологический диспансер» г. Саранска рассмотрим преобладание злокачественных новообразований полости рта у мужчин и женщин.

На первом месте для мужчин характерно наличие злокачественных новообразований локализованных в гортани (98,9%), второе место — глотка (92,15), рак слизистой оболочки щеки (РСОЩ) занимает 3-е место среди злокачественных новообразований слизистой оболочки полости рта после рака языка и слизистой оболочки дна полости рта, что составляет 7%, на чет-

вертом месте находится полость рта (81,9%), затем идет мочевого пузыря (80,5%), легкие (80%) и губы (70,4%).

У женщин же совершенно другая «картина». На первом месте находятся злокачественные новообразования щитовидной железы (80,6%), на втором месте — новообразования головного мозга (73,1%), на третьем месте — новообразования кожи и ее придатки (65,5%).

Подробнее остановимся на онкологических заболеваниях, локализованных в полости рта.

Рассмотрим распространенность и структуру заболеваемости рака полости рта в Республике Мордовия за прошедший 2020 год. Зарегистрировано — 86 случаев; заболеваемость — 10,3 случаев на 100 тысяч населения в год (Российской Федерации — 6,1%).

В структуре заболеваемости занимает — 14 место;

1,9% заболевших — лица мужского пола; средний возраст заболевших — 50–70 лет; I–II стадии заболевания — 33,7% (Российская Федерация-36,3%); III–IV стадии заболевания — 66,3% (Российская Федерация-63,7%); Пятилетняя выживаемость — 45% (Российская Федерация-50,5%); 34% пациентов умерли в течение года с момента установления диагноза (Российская Федерация-32,6%). В 2020 году — умерло 57 пациентов — 7 случаев на 100 тысяч населения.

По данным таблицы 1 наибольшее число заболевших было в 2020 году (86 человек). Одногодичная летальность преобладала в большей степени в 2018 году (28 человек). Смертность в 2020 возросла и достигла цифры 57 человек по сравнению с предыдущими годами. На учете в 2020 году состояло 178 человек из 390 человек. На основании этих данных мы можем сказать, что за прошедшие 5 лет наблюдался рост среди заболевших и умерших, дойдя до своего пика в 2020 году.

На основании таблицы 2 рассмотрим локализацию онкологического процесса в полости рта. Наибольшая встречаемость онкологического процесса характерно для языка, в 2020 году было выявлено 37 человек. Он-

Таблица 2. Данные онкологического процесса по локализации в полости рта в период с 2016 года по 2020 год по Республике Мордовия

Локализация патологического процесса	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год
Язык	24	26	26	31	37
Десна	3	2	-	4	-
Дно полости рта	17	19	10	14	17
Нёбо	4	6	6	8	3
Слизистая оболочка щек	7	7	1	4	6
Небные миндалины	7	13	18	18	14

Таблица 3. Данные онкологического процесса в полости рта с I–IV стадией заболевания в период с 2016 года по 2020 год по Республике Мордовия

	I стадия	II стадия	III стадия	IV стадия
2016 год	3	19	29	13
2017 год	6	24	35	13
2018 год	9	17	26	11
2019 год	11	19	37	19
2020 год	6	22	35	20

кологический процесс локализованный в области дна полости рта обнаруживался у 19 человек в 2017 году. Локализация патологического процесса в области нёба составило 8 человек в 2018 году. Рак слизистой оболочки щек в равной степени преобладал в 2016 и 2017 годах и составил 7 человек. К 2018 году показатель заболеваемости упал до 1 человека, а затем к 2020 году снова вырос до 6 человек. Рак небных миндалин пик своей заболеваемости получил в 2018 и 2019 годах и составил 18 человек. Для десны, по сравнению с остальными локализациями характерны наименьшие числа показателей. В большей степени патологический процесс проявился в 2019 году (4 человека), в 2018 и в 2020 годах не было выявлено наличие патологического процесса локализованного в области десны.

По данным таблицы 3 рак в III стадии преобладает по сравнению другими стадиями на протяжении всего исследуемого периода с 2016 по 2020 года. Основываясь на эти данные, можно сказать, что онкологические процессы в полости рта в III стадии наиболее распространены по сравнению с остальными тремя стадиями. Это говорит о том, что в течение данного патологического процесса наблюдается интенсивное ухудшение клинической картины заболевания.

### Заключение

1. Определив распространенность и структуру онкологической заболеваемости в Республике Мордовия с 2016 по 2020 года, можно сделать

вывод о том, что для Республики Мордовия характерно наличие интенсивного роста заболевших опухолевым процессом локализованным в полости рта. Таким образом, за прошедшие 5 лет из-за новообразований полости рта умерло 220 человек. Проанализировав полученные данные, мы пришли к выводу, что нуждаемость в медицинской помощи онкостоматологических больных с каждым годом возрастает. Таким образом, за последние 5 лет было выявлено 374 случая опухолевого процесса локализованного в полости рта.

2. На основании постановлений Правительства Российской Федерации, Республиканских территориальных программ государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи, были выявлены правила организации помощи онкостоматологических больных в Республике Мордовия.
3. Изучив достаточное количество литературы и статистических данных, мы можем сказать, что для любого онкологического процесса, в том числе и локализованного в полости рта, самой главной целью является раннее обнаружение и своевременно начатое адекватное лечение. Как уже показала практика, число заболеваний злокачественными опухолями полости рта неуклонно растет с преобладанием более запущенных стадий данного патологического процесса. Онкология относится к тому типу заболеваний, лечение которых не терпит отла-

гательств. Если пациенту поставлен онкологический диагноз, платой за промедление может стать жизнь.

Рак полости рта отличается от других злокачественных опухолей возможностью раннего диагностирования, благодаря чему можно незамедлительно начать соответствующее лечение. Но если своевременно

не обратить внимание на присутствие первичных симптомов злокачественного поражения, то в конечном итоге уменьшается благоприятный прогноз лечения. Проанализировав данные, которые нам были представлены, можно сказать, что Республика Мордовия нуждается в улучшении качества оказания высокотехнологичной медицинской помощи больным с таким недугом, как рак полости рта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Боровикова А.Д. Стоматологический статус пациентов с онкопатологией полости рта в контексте развития постлучевых осложнений / А.Д. Боровикова // Актуальные проблемы современной медицины и фармации — 2017: Сборник материалов LXXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых учёных, Минск, 17–19 апреля 2017 года / Белорусский государственный медицинский университет. — Минск: Белорусский государственный медицинский университет, 2017. — С. 1274–1276.
2. Изучение эффективности фармакологической композиции с производным диметилацетамида при инфраорбитальной анестезии у крыс с пародонтизом / Я.А. Мазов, Е.В. Блинова, Е.В. Semelva [и др.] // Вестник Биомедицина и социология. — 2022. — Т. 7, № 1. — С. 88–94.
3. Иорданишвили А.К. Истоки российской онкостоматологии / А.К. Иорданишвили // Медицина и образование. — 2021. — № 2 (8). — С. 54–58.
4. Лебедев С.Н. Актуальные проблемы онкостоматологии России и пути их решения / С.Н. Лебедев // Тверской медицинский журнал. — 2017. — № 4. — С. 14–20.
5. Лебедев М.В. Онкостоматология и лучевая терапия: Учебное пособие / М.В. Лебедев, К.И. Керимова. — Пенза: Пензенский государственный университет, 2021. — 138 с.
6. Некоторые аспекты использования внутрикостных инфузий в онкостоматологии / Ю.В. Ефимов, И.В. Долгов, Е.Ю. Ефимова, К.А. Алешанов // Медицинский алфавит. — 2015. — Т. 1, № 1. — С. 26–27.
7. Онкостоматология. Анализ показателей местного статуса пациентов с заболеваниями слизистой оболочки полости рта, ассоциированными с гипер (дис) кератозом и / или дисплазией эпителия / С.Н. Лебедев, С.И. Волков, Ю.В. Лебедева, П.В. Красовский // Современная стоматология: проблемы, задачи, решения: Материалы межрегиональной научно — практической конференции, посвященной 80 — летию со дня рождения и 30 — летию руководства кафедрой заслуженного деятеля наук России, профессора А.С. Щербакова, Тверь, 21–22 марта 2019 года. — Тверь: Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Тверская государственная медицинская академия Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2019. — С. 82–87.
8. Онкостоматология и восстановительная хирургия челюстно-лицевой области: учебное пособие системы послевузовского профессионального образования врачей-стоматологов / [Ярошкевич Алексей Владимирович и др.]; Гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Ставропольская гос. мед. акад.» М-ва здравоохранения Российской Федерации. — Ставрополь: Ставропольская гос. мед. акад, 2012. — 120 с.
9. Семелева Е.В. Стоматологический статус пациентов, страдающих хроническим алкоголизмом / Е.В. Семелева, Е.В. Елисейкина // Медицинская физика, физиология и смежные дисциплины в академической и вузовской науке: Сборник тезисов конференции с международным участием, посвящённой 100-летию МГМСУ им. А.И. Евдокимова, Москва, 17–18 ноября 2022 года. — Москва: Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, 2022. — С. 435–438.
10. Экспериментальное исследование по оценке эффективности местноанестезирующей активности новой диметилфенилацетамид-содержащей фармацевтической композиции при хроническом периодонтите / Е.В. Блинова, Е.В. Семелева, А.М. Шилова [и др.] // Стоматология. — 2020. — Т. 99, № 2. — С. 11–16.

© Елисейкина Елена Валерьевна ( trifan.elena2994@gmail.com ), Семелева Елена Владимировна ( shtanina37@mail.ru ), Курмышева Татьяна Викторовна ( Tatkurmysheva@mail.ru ), Лукичева Яна Сергеевна ( koshmanovayana@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПРИМЕНЕНИЕ ОБОГАЩЕННОЙ ТРОМБОЦИТАМИ ПЛАЗМЫ В ЛЕЧЕНИИ БЕСПЛОДИЯ, ОБУСЛОВЛЕННОГО ПАТОЛОГИЕЙ ЭНДОМЕТРИЯ И СНИЖЕННЫМ ОВАРИАЛЬНЫМ РЕЗЕРВОМ

## THE APPLICATION OF PLATELETE- RICH PLASMA IN THE TREATMENT OF INFERTILITY CAUSED BY ENDOMETRIAL PATHOLOGY AND REDUCED OVARIAN RESERVE

**D. Kalimatova  
Yu. Dobrokhotova  
I. Ilina**

*Summary.* It was carried out an analysis of literature data on the use of platelet-rich plasma (PRP) to improve the effectiveness of assisted reproductive technologies (ART). It has been established that, in addition to an increased level of platelets, PRP contains a number of biologically active substances, the action of which is characterized by synergy in terms of enhancing the activity of macrophage and neutrophil cells, which contributes to the activation of angiogenesis processes, re-epithelialization, increased fibroblast activity and, as a result, tissue regeneration.

To date, a number of studies have shown that PRP can be used to increase the thickness of the endometrium before embryo transfer and may increase the efficiency of implantation. The potential possibility of using PRP therapy in terms of the effect on ovarian tissue, in particular, on ovarian stem cells through the growth factors contained in PRP has been shown.

It has been shown that PRP therapy with autologous preparations is characterized by high safety and minimal risk of worsening the course of diseases, immunological and/or allergic reactions during its implementation.

It is concluded that, given its simplicity, the absence of serious side effects, and promising results, PRP therapy can become a new method of treatment in women with thin endometrium, repeated implantation failures, and ovarian insufficiency.

*Keywords:* infertility, endometrial pathology, ovarian reserve, platelet-rich plasma, growth factors, assisted reproductive technologies, thin endometrium.

**Калиматова Донна Магомедовна**

*К.м.н., доцент, РНИМУ им. Н.И. Пирогова  
dockalimatovadonna@yandex.ru*

**Доброхотова Юлия Эдуардовна**

*Д.м.н., профессор, РНИМУ им. Н.И. Пирогова  
pr.dobrohotova@mail.ru*

**Ильина Ирина Юрьевна**

*Д.м.н., профессор, РНИМУ им. Н.И. Пирогова  
iliyina@mail.ru*

**Аннотация.** Проведен анализ данных литературы о применении обогащенной тромбоцитами плазмы (ОТП) для повышения эффективности вспомогательных репродуктивных технологий (ВРТ). Установлено, что в составе ОТП кроме повышенного уровня тромбоцитов содержится ряд биологически активных веществ, действие которых характеризуется синергией в отношении усиления активности клеток макрофагов и нейтрофилов, что способствует активации процессов ангиогенеза, реэпителизации, усилению активности фибробластов и, в итоге — регенерации тканей. К настоящему времени в ряде исследований показано, что ОТП может быть использовано для увеличения толщины эндометрия перед переносом эмбриона и может повышать эффективность имплантации. Показана потенциальная возможность применения ОТП-терапии в аспекте влияния на ткань яичников, в частности, на овариальные стволовые клетки посредством содержащихся в ОТП факторов роста.

Показано, что проведение ОТП-терапии аутологичными препаратами характеризуется высокой безопасностью и минимальным риском ухудшения течения заболеваний, иммунологических и/или аллергических реакций при ее проведении.

Сделано заключение о том, что, учитывая простоту, отсутствие серьезных побочных эффектов, а также перспективные результаты, ОТП-терапия может стать новым методом лечения в у женщин с тонким эндометрием, при повторных неудачах имплантации, а также при овариальной недостаточности.

*Ключевые слова:* бесплодие, патология эндометрия, овариальный резерв, обогащенная тромбоцитами плазма, факторы роста, вспомогательные репродуктивные технологии, тонкий эндометрий.



## Введение

**Б**есплодие, ассоциированное с заболеваниями эндометрия и яичников, является достаточно частой патологией у женщин репродуктивного возраста [1, 2]. Несмотря на существенный прогресс в области вспомогательных репродуктивных технологий (ВРТ), установлено, что перенос эмбриона в 70–80% случаев оказывается неудачным, эмбрионы не способны имплантироваться [3–5]. Кроме состояния эмбриона и иммунологических факторов нарушения имплантации также в значительной степени обусловлены состоянием эндометрия [2, 6]. Эффективность ВРТ также снижена при патологии яичников, приводящей, в частности, к отсутствию зрелых фолликулов или их неспособности реагировать на стимуляцию [1, 3]. Все это свидетельствует о необходимости поиска новых терапевтических стратегий, направленных на преодоление нарушений фертильности, обусловленной патологией эндометрия и яичников.

В качестве одного из перспективных методов лечения данных состояний в последние годы рассматривается внутриматочное и внутрияичниковое введение аутологичной обогащенной тромбоцитами плазмы (ОТП), которая готовится из цельной крови пациента и дополнительно обогащается тромбоцитами, за счет чего насыщается факторами роста с высоким противовоспалительным и митогенным потенциалом [5, 7, 8].

## Цель работы

Анализ литературных данных о возможностях применения обогащенной тромбоцитами плазмы для повышения эффективности вспомогательных репродуктивных технологий.

Анализ состава OTP показывает, что содержание тромбоцитов в ней в 3–5 раз превышает соответствующий показатель в плазме крови. Следует отметить, что  $\alpha$ -гранулы тромбоцитов содержат целый ряд биологически активных веществ, являющихся факторами регенерации тканей. К ним относятся трансформирующие факторы роста (TGF- $\beta$ 1, TGF- $\beta$ 2), тромбоцитарные факторы роста (PDGFAA, PDGFBB, PDGF-AB), фактор роста гепатоцитов (HGF), инсулиноподобный фактор роста-1 (IGF-I), эпидермальный фактор роста (EGF), фактор роста фибробластов (FGF), сосудистый эндотелиальный фактор роста (VEGF) [7].

Действие этих факторов обладает синергией в отношении усиления диффузии макрофагов и нейтрофилов, что способствует активации процессов ангиогенеза, реэпителизации, усилению активности фибробластов и, следовательно, регенерации тканей [3, 8]. Кроме

того, OTP обладает противовоспалительной активностью за счет наличия таких факторов, как HGF [2,5, 7]. Плотные гранулы тромбоцитов содержат ионы кальция, серотонин, гистамин, дофамин, аденозиндифосфат (АДФ) и аденозинтрифосфат (АТФ), которые необходимы для обеспечения тканевого гомеостаза [9]. Помимо факторов роста, регенераторный потенциал тромбоцитов обеспечивается содержащимся в них фибронектином, витронектином и сфингозин-1-фосфатом [8, 10].

**Применение OTP-терапии при лечении тонкого эндометрия.** Известно, что для успешной имплантации человеческого эмбриона толщина эндометрия должна составлять не менее 7 мм [5, 8]. Следовательно, наличие тонкого эндометрия при проведении ВРТ может привести к отмене цикла и незапланированной криоконсервации эмбриона. Установлено, что OTP повышает активность генов, отвечающих за рецептивность и пролиферацию эндометрия. В связи с этим было предложено применение OTP для увеличения толщины эндометрия [11]. В ряде работ сообщается, что осуществление этой процедуры перед переносом эмбриона может значительно увеличить скорость имплантации, что позволило рекомендовать данный метод лечения при нарушениях процесса имплантации эмбриона [12].

В экспериментальных исследованиях Jang H. et al. (2017) было показано, что внутриматочное введение аутологичных препаратов OTP мышам может ускорять регенерацию поврежденного эндометрия и уменьшать выраженность фиброза [13]. Был проведен ряд исследований по оценке возможности применения этого подхода с целью улучшения имплантации человеческого эмбриона. Например, Chang Y. et al. (2015) показали, что внутриматочное введение 0,5–1 мл аутологичной OTP на 10-й день цикла заместительной гормональной терапии пяти пациенткам с бесплодием, тонким эндометрием и сниженным ответом на стандартное лечение приводит к увеличению толщины эндометрия до 7 мм. Это способствовало тому, что беременность после переноса эмбриона наступила у 4 женщин [14]. В аналогичном исследовании 10 пациенткам с тонким эндометрием провели OTP-терапию, после чего был выполнен криоперенос эмбрионов. Было показано, что толщина эндометрия достигла 7 мм во всех случаях и 5 из 10 пациенток (50%) забеременели [15].

Colombo G. et al. (2017) также изучали влияние OTP на толщину эндометрия у 8 пациенток с тонким эндометрием (<6 мм). У всех участниц исследования по результатам гистероскопии и бактериологического исследования патологии эндометрия выявлено не было, а также у всех женщин было по 3 неудачных криопереноса. Было установлено, что толщина эндометрия более 6,5 мм была достигнута во всех случаях за исклю-

Таблица 1. Основные факторы роста, представленные в ОТП, и их предполагаемые механизмы действия на эндометрий и яичники [21]

Факторы роста	Гипотетические эффекты в отношении эндометрия и яичников
Тромбоцитарный фактор роста (PDGF)	Митогенный эффект на стромальные, децидуальные и эпителиальные клетки эндометрия Усиление синтеза ДНК в стромальных клетках эндометрия Индукция регенерации тканей путем стимуляции хемотаксиса Повышение подвижности стромальных клеток эндометрия Увеличение количества ооцитов, трансформирующихся в первичные примордиальные фолликулы
Трансформирующий фактор роста бета (TGFβ)	Регуляция децидуализации Регуляция местного иммунитета эндометрия Регуляция регенерации эндометрия Регуляция трансформации примордиальных фолликулов Стимуляция экспрессии FSH-рецептора в яичниках
Эпидермальный фактор роста (EGF)	Пролиферация клеток эндометрия Повышение интенсивности реэпителизации эндометрия Усиление гликогенеза для обеспечения энергетических потребностей бластоцисты Увеличение размера фолликулов путем стимуляции роста ооцитов
Сосудистый эндотелиальный фактор роста (VEGF)	Повышение интенсивности ангиогенеза в эндометрии Снижение интенсивности оксидативного стресса Повышение уровня активации фолликулов Ингибирование апоптоза гранулезных клеток
Факторы роста фибробластов (FGF)	Инициация ангиогенеза в эндометрии Повышение экспрессии VEGFR2 в эндометрии Усиление пролиферации и организации эндотелия Участие в развитии фолликулов Активация пролиферации гранулезных клеток и овариальных стромальных клеток
Инсулиноподобный фактор роста (IGF)	Индукция пролиферации эндометрия через путь АКТ/mTOR Индукция децидуализации эндометриальных клеток IGF-I, IGF-II стимулируют рост вторичных фолликулов Стимуляция пролиферации гранулезных клеток и стрероидогенеза
Фактор роста гепатоцитов (HGF)	Индукция пролиферации эндометриальных клеток Усиление регенерации эндометрия в течение менструального цикла Регуляция фолликулогенеза посредством воздействия на гранулезные клетки и стероидогенез

чением одного, при этом у 6 женщин зарегистрирован положительный результат анализа на β-ХГЧ, у 2 женщин беременность протекала нормально, у одной произошел выкидыш на раннем сроке [16].

Samy A. et al. (2020) был выполнен анализ результатов исследований, в рамках которых проводилась ОТП-терапия у пациенток с тонким эндометрием, проведенным с 2000 по 2018 гг. Авторы сделали вывод, что местное введение ОТП статистически значимо повышает частоту возникновения беременности у женщин с рефрактерным эндометрием толщиной менее 6 мм [17].

Точный патофизиологический механизм, с помощью которого ОТП повышает рецептивность эндометрия до конца не изучен, однако считается, что ведущая роль в данном процессе принадлежит факторам роста [11]. Кроме того, хемокины, цитокины, активные метаболиты тромбоцитов и факторы роста могут оказывать паракринное воздействие на клетки эндометрия, включая фибробласты, миоциты и мезенхимальные стволовые клетки. Кроме того, показано, что множественные

неудачные имплантации являются результатом недостаточной экспрессии молекул адгезии, которая потенциально может быть повышена с помощью ОТП-терапии [16].

Marini M.G. et al. (2016) показали, что использование ОТП в низких концентрациях (5%) способствует усилению пролиферации клеток бычьего эндометрия, в то время как высокие концентрации (10%) препарата снижают скорость пролиферации, что приводит к негативным побочным эффектам [11]. В работе Lange-Consiglio A. et al. (2015) было показано, что ОТП в концентрации 5% увеличивает скорость пролиферации бластоцисты и количество клеток в бычьих эмбрионах, в то время как препарат в 10%-ной концентрации уменьшает эти показатели [18]. Эти данные позволяют предположить, что избыточное количество факторов роста оказывает ингибирующее действие на пролиферацию эндометрия и клеток эмбриона.

Установлено, что введение ОТП может индуцировать экспрессию нескольких генов, продукты которых

играют важную роль в процессе имплантации эмбриона, к ним относятся гены циклооксигеназы-2 (COX2), опухолевого белка 53 (TP53), альфа-рецепторов эстрогена (ER- $\alpha$ ), бета-рецепторов эстрогена (ER- $\beta$ ) и рецепторов прогестерона (PR) [11]. COX-2 принадлежит важная роль в синтезе простагландинов, принимающих участие в имплантации, способствующих сохранению беременности [19]. Также установлено, что ОТП-терапия также усиливает экспрессию гена с-Мус, играющего роль в клеточной пролиферации, вероятнее всего за счет воздействия фактора EGF, который содержится в ОТП [11, 17].

Таким образом, на основании проведенных экспериментальных и клинических исследований, применение ОТП можно рассматривать как новую и эффективную терапевтическую стратегию, способствующую повышению эффективности ВРТ у женщин с тонким эндометрием [2, 14, 20]. Тем не менее, необходимо проведение дальнейших исследований, результаты которых позволят разработать и стандартизировать протокол ОТП-терапии у данного контингента пациенток, в частности, определить оптимальные дозировки плазмы, режимы введения препаратов ОТП.

Установленные к настоящему времени активные факторы ОТП и их возможные механизмы воздействия на эндометрий представлены в таблице 1.

#### Применение ОТП-терапии при повторных неудачах имплантации эмбриона

В качестве повторных неудачи имплантации (ПНИ) эмбриона рассматривают отсутствие наступления клинической беременности после переноса минимум 4 эмбрионов высокого качества, по крайней мере в 3 последовательных циклах ЭКО у женщины в возрасте <40 лет [22]. Установлено, что уровень секреции факторов роста у пациенток с ПНИ ниже, чем у женщин без нарушений фертильности [23]. Это позволило предположить возможность положительного эффекта ОТП-терапии, что было подтверждено в ряде сообщений. В эти исследования были включены пациентки с ПНИ, у которых было установлено увеличение частоты имплантации эмбриона и наступления беременности после проведения такого лечения. Так, в работе Nazari L. et al. (2016) из 20 женщин с ПНИ 18 забеременели после проведения аутологичной ОТП-терапии (у 16 — была нормальная беременность, у одной — выкидыш, еще у одной был диагностирован пузырьный занос) [24].

Nazari L. et al. (2016) пришли к выводу, что насыщенная цитокинами и факторами роста ОТП может стимулировать пролиферацию и регенерацию эндометрия

у женщин с ПНИ [24]. Результаты другого исследования, проведенного этими авторами, свидетельствовали, что внутриматочная инфузия 0,5 мл ОТП за 48 ч до переноса бластоцисты может значительно повысить частоту наступления беременности у пациенток с ПНИ [25].

Farimani M. et al. (2016) также продемонстрировали эффективность применения рассматриваемого подхода при ПНИ. После внутриматочного введения 0,5–1 мл ОТП примерно за 36 ч до переноса эмбриона беременность наступила у 6 женщин из 9 (66%), включенных в исследование [26]. В другой работе Farimani M. et al. (2017) представили клинический случай пациентки 45 лет с ПНИ, у которой наступила беременность после введения ОТП за 24 часа до переноса эмбриона. Беременность протекала нормально, родился здоровый ребенок [27].

Механизмы, путем которых ОТП влияет на течение беременности до настоящего времени не изучены. На сегодняшний день можно сделать ряд предположений:

- ◆ ОТП компенсирует недостаток фактора роста фибробластов-1 (FGF-1), сниженного у пациенток с ПНИ [23];
- ◆ большинство факторов роста, содержащихся в ОТП, в частности инсулиноподобные факторы роста, гормон роста, PDGF, EGF и TGF- $\beta$ , имеют соответствующие рецепторы на ткани эндометрия, что дает им возможность воздействовать на ремоделирование и рецептивность эндометрия и, следовательно, имплантацию эмбриона [28, 29];
- ◆ EGF, содержащийся в ОТП, регулирует экспрессию эндометриального VEGF, который способствует васкуляризации децидуальной оболочки, активации ангиогенеза плаценты и пролиферации эндометрия [30].

#### Применение ОТП-терапии при патологии яичников

В настоящее время проводится активный поиск решения проблемы уменьшения или потери овариального резерва. Овариальная недостаточность характеризуется атрофией яичников, редукцией фолликулов и секрецией сывороточных гонадотропинов на менопаузальном уровне [31]. Была показана потенциальная возможность применения ОТП-терапии в аспекте влияния на ткань яичников, в частности, на овариальные стволовые клетки посредством содержащихся в ОТП факторов роста. Экспериментальные исследования на крысах с индуцированной циклофосфамидом недостаточностью яичников, проведенные Dehghani F. et al. (2018), продемонстрировали, что интраперитонеаль-

ное введение животным препаратов ОТП увеличивает количество преантральных фолликулов, толщину коры яичников, диаметр антрального фолликула и количество ооцитов [32].

Проведен также ряд клинических исследований применения ОТП у пациенток с овариальной недостаточностью [33, 34]. В частности, Sills et al. (2018) показали, что внутрияичниковая инъекция женщинам в возрасте 42±4 года активированной глюконатом кальция аутологичной ОТП приводит к усилению функции яичников через 2 месяца [33]. В серии клинических наблюдений Sfakianoudis K. et al. (2019) продемонстрировали снижение уровня фолликулостимулирующего гормона (ФСГ) на 67,33% и повышение уровня антимюллерова гормона 75,18% через 3 месяца после интраовариальной инфузии аутологичной ОТП у пациенток с плохим ответом на традиционную терапию овариальной недостаточности [35].

Предложены две гипотезы, объясняющие механизмы действия ОТП на формирование ооцитов при недостаточности яичников:

- ◆ содержащиеся в препарате факторы роста могут индуцировать развитие латентных ооцитов;
- ◆ воздействие ОТП обеспечивает благоприятные условия для дифференцировки и развития стволовых клеток в ооциты *de novo* [33].

Ткань яичника отличается развитой кровеносной сетью, которая может являться мишенью действия ангиогенных факторов ОТП. В результате индуцированного неоангиогенеза повышается регенеративный потенциал овариальной ткани [12]. Подобный механизм действия ОТП находит подтверждение в работах, в которых проводилась индукция ангиогенеза при аутологичной трансплантации яичников [36]. Кроме того, в экспериментах *in vitro* было показано, что количество выживших фолликулов и их темпы роста в питательных средах с добавлением ОТП значительно выше, чем в средах без ОТП. Результаты подобных наблюдений подтверждают благоприятное влияние препарата ОТП на раннюю стадию развития фолликула [37].

Одним из факторов роста, играющих роль в процессе созревания ооцитов, является фактор дифференцировки роста 9 (GDF-9), член суперсемейства TGF- $\beta$ , что было показано в работе Krüger J.P. et al. (2013) [38]. Другим механизмом, с помощью которого ОТП может регулировать рост и развитие фолликулов, является поддержание баланса между апоптозом и выживаемостью клеток. Этот механизм действия, как предполагают, может быть связан с наличием в препарате как апоптотических (Fas-L, CD40L, TRAIL и TWEAK) и антиапоптотических (HGF, SDF-1, серотонин, аденозиндифосфат и сфингозин-1 фосфат) факторов [39].

Кроме того, ОТП содержит EGF, TGF $\alpha$  и гепаринсвязывающие EGF, которые активируют сигнальные пути EGFR и Akt, отвечающие за устойчивость клеток к ишемическому повреждению [21]. Тем не менее, требуются дальнейшие исследования для разработки и оптимизации протокола ОТП-терапии у пациенток с патологией яичников.

### Безопасность применения ОТП в репродуктологии

К настоящему времени в доступной литературе представлен ряд сообщений о том, что применение ОТП в течение длительного времени у значительного количества пациенток (более 1000) не сопровождается какими-либо побочными эффектами. Исходя из этих данных, можно утверждать, что проведение ОТП-терапии аутологичными препаратами характеризуется высокой безопасностью и минимальным риском ухудшения течения заболеваний, иммунологических и/или аллергических реакций при ее проведении.

Dehghani F. et al. (2018) в экспериментах показали отсутствие каких-либо негативных воздействий препаратов ОТП на функции яичников у крыс [32]. Отмечено также, что риск инфицирования при проведении ОТП-терапии также является минимальным, поскольку процедура проводится в асептических условиях, а сама ОТП содержит факторы, обладающие антибактериальным действием [40].

В то же время ряд побочных эффектов был зарегистрирован при использовании ОТП в других областях медицины, в частности при подкожных и внутрикожных инъекциях в дерматокосметологии [41, 42]. В то же время по результатам применения ОТП для лечения патологии яичников и эндометрия сообщалось лишь о незначительных местных побочных явлениях, таких как боль в месте введения препарата, локальное раздражение, эритема и отек вокруг мест инъекций [43]. Тем не менее, учитывая отсутствие стандартных протоколов использования этого метода, клиническим специалистам следует применять ОТП с осторожностью.

### Заключение

Использование препаратов ОТП при заболеваниях эндометрия и яичников у женщин с бесплодием привлекает внимание исследователей в связи с потенциальными возможностями регенерации эндометрия и увеличения овариального резерва в результате использования данного подхода. Другими факторами популярности данного метода терапии служат простота приготовления препарата, минимизация риска инфицирования и развития иммунологических реак-

ций, а также практически полное отсутствие побочных эффектов. Анализ данных литературы показывает, что, учитывая простоту, отсутствие серьезных побочных эффектов, а также полученные многообещающие результаты, ОТП-терапия может стать новым методом лечения в у женщин с тонким эндометрием, при ПНИ, а также при овариальной недостаточности.

Активно изучаются механизмы воздействия ОТП на ткань эндометрия и яичников, хотя до настоящего времени проведены в основном экспериментальные исследования этих аспектов. Показано, что основными терапевтическими эффектами ОТП является индукция пролиферации и миграции клеток, усиление хемотак-

сиса, регенерации и ремоделирования тканей, синтеза внеклеточного матрикса, усиление активности ангиогенеза и эпителизации.

В то же время несмотря на значительные прогресс применения ОТП-терапии в различных областях медицины, в том числе в репродуктологии, до настоящего времени не разработаны стандарты подготовки препарата, не выработаны четкие рекомендации по показаниям к проведению подобной терапии. Таким образом, следующим логичным шагом в развитии этого метода должна стать разработка показаний и алгоритмов его применения, в том числе при различных видах бесплодия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Seckin S, Ramadan H, Mouanness M, Kohansieh M, Merhi Z. Ovarian response to intraovarian platelet-rich plasma (PRP) administration: hypotheses and potential mechanisms of action. *J Assist Reprod Genet.* 2022; 39 (1):37–61. doi: 10.1007/s10815–021–02385-w.
2. Herlihy NS, Seli E. The use of intraovarian injection of autologous platelet rich plasma (PRP) in patients with poor ovarian response and premature ovarian insufficiency. *Curr Opin Obstet Gynecol.* 2022; 34 (3):133–137. doi: 10.1097/GCO.0000000000000784.
3. Tremellen K, Pacella-Ince L. An audit of clinical outcomes following ovarian administration of platelet-rich plasma (PRP) in women with severe diminished ovarian reserve. *Aust N Z J Obstet Gynaecol.* 2022; 62 (5):767–772. doi: 10.1111/ajo.13578.
4. Lédée N, Prat-Elleberg L, Petitbarat M, Chevrier L, Simon C, Irani EE, Vitoux D, Bensussan A, Chaouat G. Impact of prednisone in patients with repeated embryo implantation failures: beneficial or deleterious? *J Reprod Immunol.* 2018; 127:11–15. doi:10.1016/j.jri.2018.03.003.
5. Pacu I, Zygouropoulos N, Dimitriu M, Rosu G, Ionescu CA. Use of platelet-rich plasma in the treatment of infertility in poor responders in assisted human reproduction procedures. *Exp Ther Med.* 2021; 22 (6): 1412. doi: 10.3892/etm.2021.10848.
6. Hajipour H, Nejabati HR, Latifi Z, Hamdi K, Bahrami-asl Z, Fattahi A, Nouri M. Lymphocytes immunotherapy for preserving pregnancy: mechanisms and challenges. *Am J Reprod Immunol.* 2018; 80: e12853. doi:10.1111/aji.12853.
7. Amable PR, Carias RBV, Teixeira MVT, da Cruz Pacheco Í, Do Amaral RJFC, Granjeiro JM, Borojevic R. Platelet-rich plasma preparation for regenerative medicine: optimization and quantification of cytokines and growth factors. *Stem Cell Res Ther.* 2013; 4 (3):67. doi:10.1186/scrt218.
8. Opneja A, Kapoor S, Stavrou EX. Contribution of platelets, the coagulation and fibrinolytic systems to cutaneous wound healing. *Thromb Res.* 2019; 179:56–63. doi:10.1016/j.thromres.2019.05.001
9. Bos-Mikich A, de Oliveira R, Frantz N. Platelet-rich plasma therapy and reproductive medicine. *J Assist Reprod Genet.* 2018; 35 (5):753–756. doi:10.1007/s10815–018–1159–8.
10. Dawood AS, Salem HA. Current clinical applications of platelet-rich plasma in various gynecological disorders: an appraisal of theory and practice. *Clin Exp Reprod Med.* 2018; 45 (2):67–74. doi:10.5653/cerm.2018.45.2.67.
11. Marini MG, Perrini C, Esposti P, Corradetti B, Bizzaro D, Riccaboni P, Fantinato E, Urbani G, Gelati G, Cremonesi F. Effects of platelet-rich plasma in a model of bovine endometrial inflammation in vitro. *Reprod Biol Endocrinol.* 2016; 14 (1):58. doi:10.1186/s12958–016–0195–4.
12. Farimani M, Heshmati S, Poorolajal J, Bahmanzadeh M. A report on three live births in women with poor ovarian response following intra-ovarian injection of platelet-rich plasma (PRP). *Mol Biol Rep.* 2019; 46 (2): 1611–1616. doi:10.1007/s11033–019–04609-w.
13. Jang H-Y, Myoung SM, Choe JM, Kim T, Cheon Y-P, Kim YM, Park H. Effects of autologous platelet-rich plasma on regeneration of damaged endometrium in female rats. *Yonsei Med J.* 2017; 58 (6):1195–1203. doi:10.3349/ymj.2017.58.6.1195.
14. Chang Y, Li J, Chen Y, Wei L, Yang X, Shi Y, Liang X. Autologous platelet-rich plasma promotes endometrial growth and improves pregnancy outcome during in vitro fertilization. *Int J Clin Exp Med.* 2015; 8 (1):1286.
15. Zadehmodarres S, Salehpour S, Saharkhiz N, Nazari L. Treatment of thin endometrium with autologous platelet-rich plasma: a pilot study. *JBRA Assisted Reprod.* 2017; 21 (1):54. doi:10.5935/1518–0557.20170013.
16. Colombo G, Fanton V, Sosa D, Criado ES, Lotti J, Aragona S, Lotti T. Use of platelet rich plasma in human infertility. *J Biol Regul Homeost Agents.* 2017; 31 (2 Suppl. 2):179–182.
17. Samy A, Abbas AM, Elmoursi A, Elsayed M, Hussein RS. Effect of autologous platelet-rich plasma transfusion in the treatment of infertile women with thin endometrium and its implications in IVF cycles: a literature review. *Middle East Fertil Soc J.* 2020; 25 (1):5–9. doi:10.1186/s43043–020–0019–5.
18. Lange-Consiglio A, Cazzaniga N, Garlappi R, Spelta C, Pollera C, Perrini C, Cremonesi F. Platelet concentrate in bovine reproduction: effects on in vitro embryo production and after intrauterine administration in repeat breeder cows. *Reprod Biol Endocrinol.* 2015; 13 (1):65–68. doi:10.1186/s12958–015–0064–6.

19. Sheldon IM, Cronin J, Goetze L, Donofrio G, Schuberth H-J. Defining postpartum uterine disease and the mechanisms of infection and immunity in the female reproductive tract in cattle 1. *Biol Reprod.* 2009; 81 (6): 1025–1032. doi:10.1095/biolreprod.109.077370.
20. Kim H, Shin JE, Koo HS, Kwon H, Choi DH, Kim JH. Effect of autologous platelet-rich plasma treatment on refractory thin endometrium during the frozen embryo transfer cycle: a pilot study. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2019; 10:61. doi:10.3389/fendo.2019.00061.
21. Hajipour H, Farzadi L, Latifi Z, Keyhanvar N, Navali N, Fattahi A, Nouri M, Dittrich R An update on platelet-rich plasma (PRP) therapy in endometrium and ovary related infertilities: clinical and molecular aspects, *Systems Biology in Reproductive Medicine.* 2021; 67 (3): 177–188. doi: 10.1080/19396368.2020.1862357
22. Coughlan C, Ledger W, Wang Q, Liu F, Demiro A, Gurgan T, Cutting R, Ong K, Sallam H, Li T. Recurrent implantation failure: definition and management. *Reprod Biomed Online.* 2014; 28 (1): 14–38. doi:10.1016/j.rbmo.2013.08.011.
23. Sak M, Gul T, Evsen M, Soydinc H, Sak S, Ozler A, Alabalik U. Fibroblast growth factor-1 expression in the endometrium of patients with repeated implantation failure after in vitro fertilization. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2013; 17 (3): 398–402.
24. Nazari L, Salehpour S, Hoseini S, Zadehmodarres S. Effects of autologous platelet-rich plasma on implantation and pregnancy in repeated implantation failure: A pilot study. *Int J Reprod BioMed.* 2016; 14 (10):625–628.
25. Nazari L, Salehpour S, Hosseini MS, Hashemi Moghanjoughi P. The effects of autologous platelet-rich plasma in repeated implantation failure: a randomized controlled trial. *Human Fertility.* 2020; 23 (3):209–213. doi: 10.1080/14647273.2019.1569268.
26. Farimani M, Bahmanzadeh M, Poorolajal J. A new approach using autologous platelet-rich plasma (PRP) to treat infertility and to improve population replacement rate. *J Res Health Sci.* 2016; 16 (3):172–173.
27. Farimani M, Poorolajal J, Rabiee S, Bahmanzadeh M. Successful pregnancy and live birth after intrauterine administration of autologous platelet-rich plasma in a woman with recurrent implantation failure: A case report. *Int J Reprod BioMed.* 2017; 15 (12):803.
28. Anitua E, de la Fuente M, Ferrando M, Quintana F, Larreategui Z, Matorras R, Orive G. Biological effects of plasma rich in growth factors (PRGF) on human endometrial fibroblasts. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* 2016; 206:125–130. doi:10.1016/j.ejogrb.2016.09.024
29. Yu H, Gao S, Tang H, Chen H, Deng Z, Yang L, Liu Z, Tang Q, Tang T. Growth hormone intrauterine perfusion combined with replacement cycle in the treatment of non-response thin endometrium: report of 5 cases. *Int J Clin Exp Med.* 2016; 9 (6):11982–11989.
30. Furukawa Y, Kawano Y, Fukuda J, Matsumoto H, Narahara H. The production of vascular endothelial growth factor and metalloproteinase via protease-activated receptor in human endometrial stromal cells. *Fertil Steril.* 2009; 91 (2): 535–541. doi:10.1016/j.fertnstert.2007.11.080.
31. Ranjbaran A, Nejabati HR, Ghasemnejad T, Latifi Z, Hamdi K, Hajipour H, Raffel N, Bahrami-asl Z, Hakimi P, Mihanfar A. Follicular fluid levels of adrenomedullin 2, vascular endothelial growth factor and its soluble receptors are associated with ovarian response during ART cycles. *Geburtshilfe Frauenheilkd.* 2019; 79 (1): 86–93. doi:10.1055/a-0764–4765.
32. Dehghani F, Aboutalebi H, Esmailpour T, Panjehshahin MR, Bordbar H. Effect of platelet-rich plasma (PRP) on ovarian structures in cyclophosphamide-induced ovarian failure in female rats: a stereological study. *Toxicol Mech Methods.* 2018; 28 (9): 653–659. doi:10.1080/15376516.2018.1491662.
33. Sills ES, Rickers NS, Li X, Palermo GD. First data on in vitro fertilization and blastocyst formation after intraovarian injection of calcium gluconate-activated autologous platelet rich plasma. *Gynecol Endocrinol.* 2018; 34 (9):756–760. doi: 10.1080/09513590.2018.1445219.
34. Silva J, Figueiredo J, Van den Hurk R. Involvement of growth hormone (GH) and insulin-like growth factor (IGF) system in ovarian folliculogenesis. *Theriogenology.* 2009; 71 (8):1193–1208. doi: 10.1016/j.theriogenology.2008.12.015.
35. Sfakianoudis K, Simopoulou M, Nitsos N, Lazaros L, Rapani A, Pantou A, Koutsilieris M, Nikas Y, Pantos K. Successful implantation and live birth following autologous platelet-rich plasma treatment for a patient with recurrent implantation failure and chronic endometritis. *In Vivo (Brooklyn).* 2019; 33 (2):515–521. doi:10.21873/invivo.11504.
36. Callejo J, Salvador C, González-Nuñez S, Almeida L, Rodríguez L, Marqués L, Valls A, Laila JM. Live birth in a woman without ovaries after autograft of frozen-thawed ovarian tissue combined with growth factors. *J Ovarian Res.* 2013; 6:33. doi:10.1186/1757–2215–6–33
37. Hosseini L, Shirazi A, Naderi MM, Shams-Esfandabadi N, Boroujeni SB, Sarvari A, Sadeghnia S, Behzadi B, Akhondi MM. Platelet-rich plasma promotes the development of isolated human primordial and primary follicles to the preantral stage. *Reprod Biomed Online.* 2017; 35 (4):343–350. doi:10.1016/j.rbmo.2017.04.007.
38. Krüger JP, Freymann U, Vetterlein S, Neumann K, Endres M, Kaps C. Bioactive factors in platelet-rich plasma obtained by apheresis. *Transfus Med Hemother.* 2013; 40 (6):432–440. doi:10.1159/000356329.
39. Hu X, Wang C, Rui Y. An experimental study on effect of autologous platelet-rich plasma on treatment of early intervertebral disc degeneration. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi= Zhongguo Xiu fu Chongjian Waikē Zazhi= Chinese J Repar Constructive Surg.* 2012; 26 (8):977–983.
40. Ulbin-Figlewicz N, Jarmoluk A, Marycz K. Antimicrobial activity of low-pressure plasma treatment against selected foodborne bacteria and meat microbiota. *Ann Microbiol.* 2015; 65 (3):1537–1546. doi:10.1007/s13213–014–0992-y
41. Uysal CA, Ertas NM. Platelet-rich plasma increases pigmentation. *J Craniofac Surg.* 2017; 28 (8): e793. doi:10.1097/SCS.0000000000002893.
42. Kalyam K, Kavoussi SC, Ehrlich M, Teng CC, Chadha N, Khodadadeh S, Liu J. Irreversible blindness following periocular autologous platelet-rich plasma skin rejuvenation treatment. *Ophthal Plast Reconstr Surg.* 2017; 33 (3): 12–16. doi:10.1097/IOP.0000000000000680.
43. Chang BL, Beer J, Percec I. 2018. Platelet-rich plasma: fact or fantasy? *Adv Cosmet Surg.* 2018; 1 (1):193–209.

© Калиматова Донна Магомедовна ( dockalimatovadonna@yandex.ru ),

Доброхотова Юлия Эдуардовна ( pr.dobrohotova@mail.ru ), Ильина Ирина Юрьевна ( iliyina@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ХРОНИЧЕСКОГО ЭНДОМЕТРИТА КАК ПРИЧИНЫ БЕСПЛОДИЯ

### MODERN ASPECTS OF THE TREATMENT OF CHRONIC ENDOMETRITIS AS A CAUSE OF INFERTILITY

*E. Kushnir  
V. Ivanchenkova  
M. Muravlyantseva  
A. Shalyapina*

*Summary.* Chronic endometritis is one of the leading pathologies in gynecological practice, leading to a violation of the reproductive function of a woman. The frequency of occurrence of this pathology among patients ranges from 2.8% to 56.8%, and in patients diagnosed with infertility — 45%. Risk factors for the development of chronic endometritis include: the onset of sexual activity at an early age, invasive procedures on the pelvic organs, infectious diseases of the reproductive and urinary systems. In establishing the diagnosis of chronic endometritis, the leading role is played by “pipel” biopsy and hysteroscopy. Successful pregnancy requires a comprehensive approach in the treatment of chronic endometritis, which includes traditional methods such as antibiotic therapy and physiotherapy, as well as alternative options: autoimmune stem cell therapy, autologous platelet-rich plasma therapy, cytokine therapy. Treatment with autoimmune stem cells can increase the thickness of the endometrium. Cytokine therapy, especially colony-stimulating factors, also affect the thin endometrium, contributing to its increase. Platelets produce growth factors that can stimulate cell division, and also have neovascular and anti-inflammatory effects. Physiotherapeutic methods, such as ultrasonic intrauterine cavitation, low-frequency ultrasound and magnetic laser stimulation, improve the blood supply to the pelvic organs, eliminate chronic hypoxia, which increases the chance for successful implantation of a fertilized egg.

*Keywords:* chronic endometritis, infertility, cytokine therapy, stem cells, physiotherapy.

**Кушнир Екатерина Константиновна**  
Ассистент, Тверской государственный  
медицинский университет  
*Katerina.kushnir2020@mail.ru*

**Иванченкова Валерия Валерьевна**  
Тверской государственный медицинский  
университет  
*ivanchenkovavaleriya@yandex.ru*

**Муравлянцева Мария Михайловна**  
Тверской государственный медицинский  
университет  
*marym200799@gmail.com*

**Шалыпина Анна Викторовна**  
Тверской государственный медицинский  
университет  
*annaShal1@mail.ru*

*Аннотация.* Хронический эндометрит является одной из ведущих патологий в гинекологической практике, приводящей к нарушению репродуктивной функции женщины. Частота встречаемости данной патологии среди пациенток колеблется от 2,8% до 56,8%, а у пациенток с диагнозом бесплодие — 45%. К факторам риска развития хронического эндометрита относятся: начало половой жизни в раннем возрасте, инвазивные процедуры на органах малого таза, инфекционные заболевания половой и мочевыводящей систем. Для успешного наступления беременности необходим комплексный подход в лечении хронического эндометрита, куда входят традиционные методы, такие как антибиотикотерапия и физиотерапевтические методы, а также альтернативные варианты: терапия аутоиммунными стволовыми клетками, терапия аутологичной богатой тромбоцитами плазмой, цитокиноterapia.

*Ключевые слова:* хронический эндометрит, бесплодие, цитокиноterapia, стволовые клетки, физиотерапия.

### Введение

**П**роблема женского фактора в развитии бесплодия стоит достаточно остро в современной гинекологии. В качестве одной из основных причин бесплодия следует рассматривать хронический воспалительный процесс эндометрия. Хронический эндометрит — это заболевание, характеризующееся

развитием воспаления эндометрия, которое приводит к нарушению его циклических изменений и рецептивности, что ведет к нарушению процесса имплантации оплодотворенной яйцеклетки и в конечном итоге к бесплодию. Кроме того, хронический эндометрит приводит к неудачным попыткам при проведении вспомогательных репродуктивных технологий, к невынашиванию беременности, осложнениям течения

беременности, родов и послеродового периода, а также приводит к возникновению гиперпластических и неопластических процессов [1].

Так, по данным исследований, частота хронического эндометрита у женщин составляет от 2,8% до 56,8%, у пациенток, участвующих в программе вспомогательных репродуктивных технологий — от 14% до 67,5%. Причем выявлено, что среди пациенток с диагнозом бесплодие около 45% имеют в анамнезе хронический эндометрит [2].

К факторам риска хронического эндометрита относят: раннее начало половой жизни, инвазивные вмешательства на органах малого таза, инфекционные заболевания мочевыводящих и половых путей. Основную долю пациенток с хроническим эндометритом составляют те, кто имеет в анамнезе хроническую персистирующую инфекцию. Причем следует отметить, что в последние годы выявилась тенденция изменения клинической картины хронического эндометрита, которая характеризуется латентным течением без явных клинических проявлений, что не побуждает пациентку обратиться к гинекологу. Гораздо реже пациенток беспокоят аномальные маточные кровотечения, патологические выделения из влагалища, боль внизу живота, лихорадка и нарушение менструального цикла [3].

Если говорить о причине развития хронического эндометрита, то ряд авторов утверждают, что хронический эндометрит представляет собой аутоиммунный процесс, при этом ключевую роль играет развитие воспаления на фоне дезадаптации иммунной системы и снижение резистентности к различным возбудителям [4]. Другие авторы считают, что этиологическим фактором хронического эндометрита обязательно является инфекционный агент, колонизирующий полость матки. Восходящая инфекция вызвана условно-патогенной флорой влагалища женщины, инфекциями, передающимися половым путем, туберкулезом, а также проникновение бактерий через шейку матки в ее полость происходит во время медицинских процедур. Наиболее часто обнаруживаемыми микроорганизмами в эндометрии являются *Streptococcus*, *Corynebacterium*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Mycoplasma genitalium*, *Bacteroides bivius*, *Ureaplasma urealyticum* [5]. Кроме того, ряд авторов считают, что хронический эндометрит связан с акушерскими или неонатальными осложнениями, такими как преждевременные роды, преэклампсия, перивентрикулярная лейкомаляция. При этом важную роль играет не только персистенция инфекционного агента, но и отложение в эндометрии продуктов тканевого распада и инфильтрация эндометрия плазмацитами, что приводит к активации «цитокинового воспаления» и перехода воспалительного процесса в хронический [6].

## Цель исследования

Изучить современные методы лечения хронического эндометрита и возможности их использования в гинекологической практике.

## Материал и методы исследования

В ходе настоящего исследования был проведен анализ зарубежной и отечественной литературы о хроническом эндометрите и методах его лечения.

## Результаты исследования и их обсуждение

Диагностика хронического эндометрита — непростая задача врача-гинеколога. Обнаружение условно-патогенных возбудителей и лейкоцитов в биоптате эндометрия не дадут нам достоверной информации о наличии заболевания, а в анализе крови вообще будут отсутствовать признаки воспаления. Кроме того, по данным сравнительного исследования 2018 года, было установлено, что такие специфические инфекции, как *Chlamydia trachomatis* и *Neisseria gonorrhoeae* не вызывают хронический эндометрит [7].

«Золотым стандартом» диагностики хронического эндометрита принято считать гистологическое и иммуногистохимическое исследование ткани эндометрия, полученной с помощью специального катетера «Пайпель». Биопсия проводится в 1 фазе менструального цикла (на 7–10 день). Диагностическими критериями хронического воспаления являются поверхностный отек слизистой оболочки, повышенная плотность стромальных клеток эндометрия, несинхронизированная дифференцировка эпителиальных клеток эндометрия, а также обнаружение плазматических клеток, на поверхности которых находится протеогликан — CD138 (или Синдекан-1), который не способен проникать в другие клетки эндометрия. Для постановки диагноза должно быть две или более плазматических клеток (некоторые авторы предполагают пять или более) в одном из трех биоптатов. Однако следует отметить, что в 30% случаев CD138 может экспрессироваться эпителием желез и без хронического эндометрита, но он должен располагаться только по периметру желез, а в строме плазматических клеток наблюдаться их не должно. Также одним из диагностических критериев может служить так называемый «strawberry aspect», представляющий собой гиперемизированные участки слизистой оболочки с «белыми вкраплениями» в центре. Такая картина является уникальной при хроническом эндометрите, но несильно выраженной, что приводит к снижению ее обнаружения [8].



Вторым методом диагностики хронического эндометрита является гистероскопия, для которой характерно наличие локальной или диффузной гиперемии, отека стромы и микрополипов (менее 1 мм). По данным исследований, диагностическая точность гистероскопии составляет 93,4%. Также существует взаимосвязь гистологического и гистероскопического методов — в 86,5% случаев их оценка совпадает [9].

Лечение хронического эндометрита представляет собой непростую задачу в силу сложности установления этиологического фактора, а также восстановления поврежденного базального слоя эндометрия.

После установления причины воспаления первый этап лечения хронического эндометрита состоит в назначении этиотропной терапии (антибиотиков). Пероральная антибактериальная терапия является «золотым стандартом» в лечении хронического эндометрита.

Возможные схемы терапии: режим первой линии — доксициклин перорально по 100 мг в сутки в течение 14 дней. Терапия второй линии включает цiproфлоксацин и метронидазол по 500 мг в день в течение двух недель или офлоксацин по 400 мг в день в течение двух недель и метронидазол по 500 мг в день в течение двух недель. Для пациенток с грамотрицательными и грамположительными бактериями может быть предложена следующая схема: цiproфлоксацин по 500 мг два раза в день в течение 10 дней и комбинация амоксициллина с клавулановой кислотой по 2 г один раз в день в течение 8 дней. Стоит отметить, что хороший ответ на антибактериальную терапию улучшает репродуктивный исход [10].

В настоящее время в одном из университетов Испании проводят клиническое исследование, суть которого заключается в разработке нового неинвазивного диагностического теста с использованием бактериальной ДНК, выделяемой из эндометрия. Антибиотики будут назначаться на основе бактерий, обнаруженных при секвенировании с помощью ПЦР, чувствительность метода составляет 76,92%, а специфичность — 100%. Для контроля эффективности данная методика будет сравниваться с результатами пациенток, у которых были взяты биопсия или посев. Этот метод является перспективным для более быстрой диагностики хронического эндометрита, а также для диагностики бактерий, колонизирующих эндометрий, даже без гистологических признаков воспаления [11].

Лечение хронического туберкулезного эндометрита заключается в противотуберкулезной терапии в течение 6–9 месяцев. Терапия проводится в специализированных учреждениях под контролем фтизиоги-

неколога. Важно отметить, что *Micoplasma tuberculosis* приводит к бесплодию 40–75% пар, а по данным Росстат, заболеваемость туберкулезом на 2021 г. составила 31,1 на 100 000 человек [12].

Однако в некоторых случаях после использования антибактериальной терапии у пациенток с хроническим эндометритом беременность не наступает, что побуждает рассматривать альтернативные варианты терапии.

### Терапия аутоиммунными стволовыми клетками

Стволовые клетки — это недифференцированные, незрелые клетки, которые способны к самообновлению и делению.

В 2020 году было проведено исследование пациенток с синдромом Ашермана и атрофией эндометрия, в котором использовали аутоиммунные стволовые клетки костного мозга для регенерации эндометрия с целью восстановления менструации и фертильности.

Мононуклеарные стволовые клетки были имплантированы в субэндометриальный слой с последующей монотерапией эстрогенами в течение 3 месяцев. Далее оценивали толщину эндометрия с интервалами в 3,6,9 месяцев и 5 лет. Толщина эндометрия через 3 месяца увеличилась до  $5,1 \pm 1,9$  мм (средняя толщина эндометрия до переноса стволовых клеток составляла  $3,3 \pm 1,0$  мм), в дальнейшем динамики не наблюдалось. У трех пациенток из 25 был благоприятный исход беременности, у 85% пациенток со вторичной аменореей возобновился менструальный цикл [13].

Подобные исследования проводились и ранее, также были достигнуты успехи в регенерации эндометрия при синдроме Ашермана и атрофии эндометрия с последующим восстановлением менструации и фертильности. В течение одного года в исследовании принимали участие женщины репродуктивного возраста (от 25 до 35 лет) с первичным или вторичным бесплодием вследствие синдрома Ашермана. При этом ранее проведенная стимуляция эстрогенами не дала положительных результатов. Мононуклеарные стволовые клетки были также имплантированы в субэндометриальную зону в 2–3 участка (дно, передний и задний отделы миометрия) с последующим пероральным приемом эстрогена и прогестерона. Мононуклеарные стволовые клетки в объеме 3 мл содержали CD34<sup>+</sup> трансмембранный белок, который способствует ангиогенезу, регенерации тканей и ингибирует рубцевание эндометрия [14]. После терапии стволовыми клетками костного мозга CD133<sup>+</sup> и периферической крови выявили увеличение общего числа зрелых сосудов у пациентов через 3 ме-

сяца. В результате несколько беременностей наступило как самостоятельно, так и с помощью вспомогательных репродуктивных технологий [15]. Следует считать, что имплантация стволовых клеток является перспективным методом лечения хронического эндометрита.

### **Терапия аутологичной плазмой, богатой тромбоцитами**

Использование богатой тромбоцитами плазмы для улучшения рецептивности эндометрия привлекает все большее внимание врачей-репродуктологов, так как данная терапия положительно влияет на успешное течение беременности.

В 2019 году был представлен клинический случай пациентки с диагнозом хронический эндометрит и преждевременной недостаточностью яичников, у которой были повторные неудачи имплантации после переноса донорских эмбрионов. Антибактериальная терапия не дала положительного результата, поэтому было предложено лечение аутологичной внутриматочной плазмой, богатой тромбоцитами, ее объем составил примерно 2,5 мл. Инфузию эндометрия выполнили с использованием трансвагинального ультразвукового контроля и соответствующего катетера [16].

Путем забора периферической крови, последующим центрифугированием с антикоагулянтом и с возможным добавлением активаторов тромбоцитов получают плазму с высокой концентрацией тромбоцитов. Тромбоциты — это безъядерные клетки, образовавшиеся из мегакариоцитов, расположенных в костном мозге. Они содержат многочисленные белки, некоторые факторы роста и цитокины. Тромбоциты играют важную роль в регенерации повреждённых тканей, выделяя многочисленные факторы роста, которые стимулируют деление клеток, а также обладают митогенным, хемотаксическим, неоваскулярным и противовоспалительным действием [16].

После проведенного лечения последующая гистероскопия не выявила признаков хронического эндометрита. Новый перенос эмбрионов закончился доношенной беременностью и рождением двойни в срок [16].

До сих пор остается неясным, каким образом получают плазму, богатую тромбоцитами, из цельной крови. В некоторых статьях упоминается «двухэтапное» центрифугирование и извлечение лейкоцитарной пленки. Но помимо тромбоцитов в лейкоцитарной пленке содержатся и лейкоциты. Они в свою очередь также являются источниками цитокинов и некоторых факторов роста. Поэтому трудно установить, какой компонент крови оказывает влияние на рецептивность эндоме-

трия: тромбоциты или их комбинация с цитокинами и факторами роста [17].

### **Цитокинотерапия**

Цитокины — это белковые соединения, которые секретируются клетками крови и иммунной системы, служат для передачи информации и участвуют во многих физиологических процессах. Эти растворимые белки продуцируются разными типами клеток во многих тканях, включая репродуктивные и эмбриональные. Роль цитокинов в улучшении рецептивности эндометрия была отмечена в различных исследованиях за последние десятилетия.

В состав цитокинов входят интерлейкины, интерфероны, факторы некроза опухоли и колониестимулирующие факторы. Последние нашли применение у пациенток с привычными неудачами имплантации и невосприимчивым к эстрогенам тонким эндометрием в циклах вспомогательных репродуктивных технологий. По данным доклинических исследований, гранулоцитарный колониестимулирующий фактор воздействует на децидуальные макрофаги, стимулирует пролиферацию и дифференцировку нейтрофильных гранулоцитов, а также влияет на имплантацию. В группе, которая получала препарат гранулоцитарного колониестимулирующего фактора, толщина эндометрия увеличилась до 7,90 мм, а в контрольной группе до 6,90 мм. Пациентки обеих групп изначально имели толщину эндометрия 6,50 мм и 6,40 соответственно. Авторы пришли к мнению, что гранулоцитарный колониестимулирующий фактор способствует увеличению толщины эндометрия, но не улучшает течение беременности и показатель живорождённости [18].

Цитокинотерапию внедряют в клиническую практику и при хроническом эндометрите. В отечественном исследовании 2019 года на базе РНИМУ им. Н.И. Пирогова был проведен 20-дневный курс препарата, состоящего из природных пептидов и цитокинов, у 43 пациенток с диагнозом хронический эндометрит. После цитокинотерапии снизилась частота выявления плазматических клеток с 62,8 до 39,5%, увеличилось количество пиноподий эндометрия в 1,25 раза, ранее выявляемый вирус Эпштейна-Барр элиминировал, а у 11,6% пациенток наступила спонтанная беременность [19].

Методы физиотерапии включены в стандарты терапевтического алгоритма лечения хронического эндометрита. К применяемым методам относятся низкочастотный ультразвук, магнитолазерная терапия в сочетании с интравагинальной электростимуляцией, ультразвуковая внутриматочная кавитация. Под действием физических факторов наблюдаются улучшение

микроциркуляции в сосудистом бассейне малого таза, устранение фиброза и хронической гипоксии тканей, что ведет к восстановлению процессов децидуализации и повышает процент успешной имплантации [20]. Комплексный подход с использованием физиотерапии на различных этапах лечения обеспечивает нивелирование болевого и воспалительного синдрома, что ведет к повышению эффективности лечения хронического эндометрита.

### Заключение

Хронический эндометрит представляет собой сложную проблему в современной акушерской и гинекологической практике. Данная проблема является

распространенной среди женского населения репродуктивного возраста, однако зачастую вследствие бессимптомного течения или стертой клинической картины пациентки не обращаются за помощью к врачу, что приводит к хронизации процесса и нарушению процессов имплантации и, как следствие, к бесплодию. Вопрос об оптимальном решении остается открытым до сих пор, так как предложенные протоколы лечения не всегда позволяют добиться положительного результата у пациенток. Необходимо использовать персональный подход к каждой конкретной пациентке в зависимости от клинического случая и использовать комплексный подход в лечении хронического эндометрита с использованием всех доступных методов в арсенале врача.

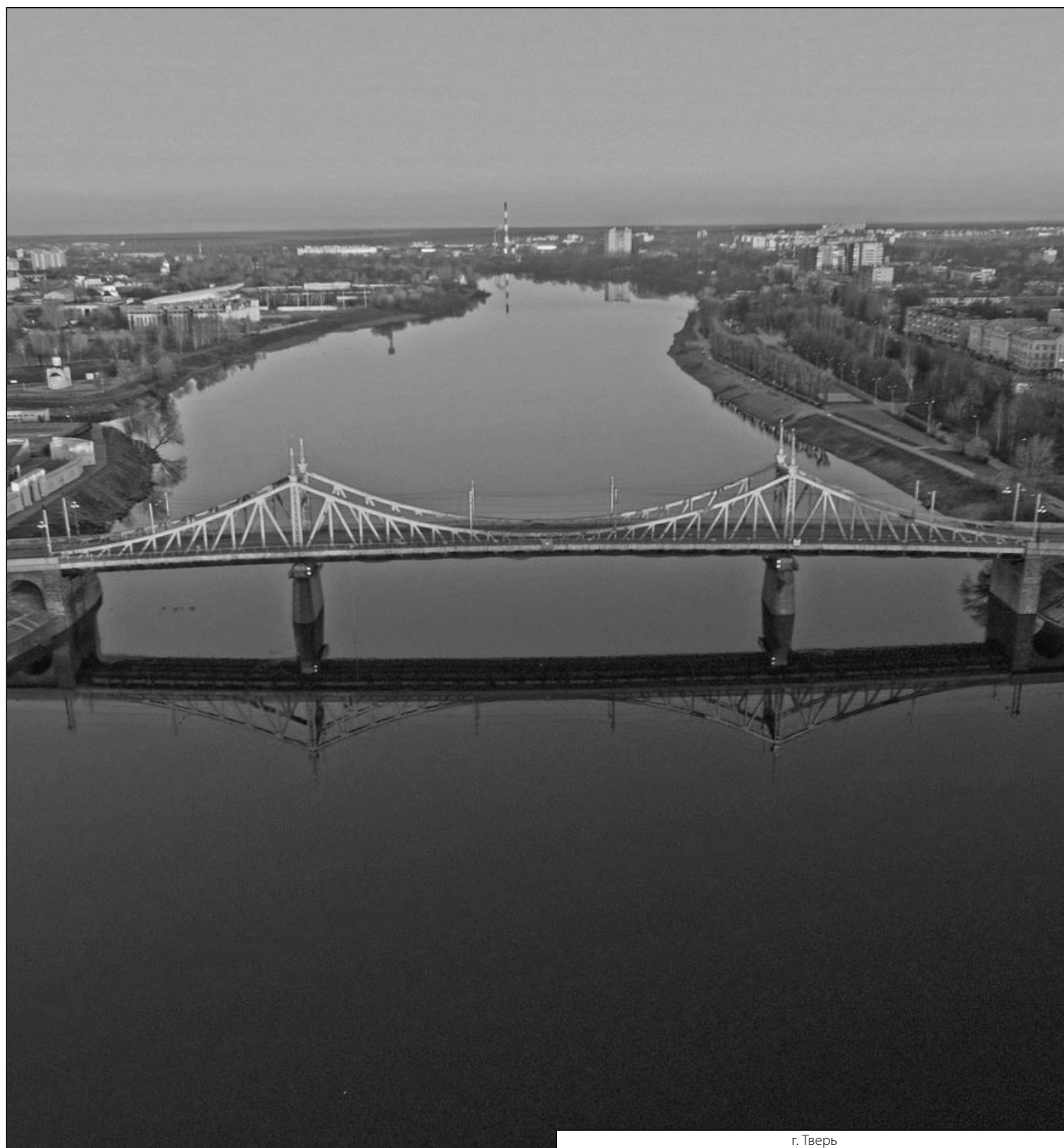
### ЛИТЕРАТУРА

1. Шилов А.В., Мнихович М.В., Лучинин В.В., Васин И.В., Снегур С.В., Казанцева Г.П., Соломатина Л.М. Патоморфологическая и иммуноморфологическая характеристика хронического эндометрита / Вестник новых медицинских технологий. — 2018. — № 4. — С. 65–70. DOI:10.24411/2075–4094–2018–16138.
2. Kushnir V.A., Solouki S., Sarig-Meth T., Vega M.G., Albertini D.F., Darmon S.K., Deligdisch L., Barad D.H., Gleicher N. Systemic inflammation and autoimmunity in women with chronic endometritis // *AJL*. — 2016–75 (6) — P. 672–677. DOI: 10.1111/aji.12508.
3. Kitaya K., Matsubayashi H. et al. Chronic endometritis: potential cause of infertility and obstetric and neonatal complications // *AJL*. — 2016–75. — P. 13–22.
4. Овчарук Э.А. Хронический аутоиммунный эндометрит как одна из главных причин нарушения репродуктивной функции / Вестник новых медицинских технологий: электронный журнал. — 2013. — № 1. С. 224–225.
5. Cicinelli E., Matteo M. et al. Prevalence of chronic endometritis in repeated unexplained implantation failure and the IVF success rate after antibiotic therapy — *Hum Reprod*. — 2015–30 — P. 323–330.
6. Мальцева Л.И., Шарипова Р.И., Железова М.Е. Хронический эндометрит — смена привычных представлений / Практическая медицина. — 2018. — № 6. — С. 99–105.
7. Moreno I., Cicinelli E. et al. The diagnosis of chronic endometritis in infertile asymptomatic women: a comparative study of histology, microbial cultures, hysteroscopy, and molecular microbiology // *Am J Obstet Gynecol*. — 2018–218. Issue 6. P.602
8. Johnston-MacAnanny E.B., Hartnett J., Engmann L.L., Nulsen J.C., Sanders M.M., Benadiva C.A. Chronic endometritis is a frequent finding in women with recurrent implantation failure after in vitro fertilization // *Fertil Steril*. — 2010–93 (2) — P. 437–41.
9. Guo G.L., Chen S.Y., Zhang W., Zhang C., He L. Diagnosis value of hysteroscopy for chronic endometritis // *Clin Exp Obstet Gynecol*. — 2013–40 (2) — P. 250–2.
10. Singh N., Sethi A. Endometritis — Diagnosis, Treatment and its impact on fertility — A Scoping Review // *JBRA Assist Reprod*. — 2022. — 26 (3) — P. 538–546.
11. Bashiri A., Halper K.I., Orvieto R. Recurrent Implantation Failure-update overview on etiology, diagnosis, treatment and future directions // *Reprod Biol Endocrinol*. — 2018–16 (1) . — P. 121. DOI:10.1186/s12958–018–0414–2
12. Jindal U.N., Verma S., Bala Y. Favorable infertility outcomes following anti-tubercular treatment prescribed on the sole basis of a positive polymerase chain reaction test for endometrial tuberculosis // *Hum Reprod*. — 2012. — 27 (5) — P. 1368–74.
13. Singh N., Shekhar B., Mohanty S., Kumar S., Seth T., Girish B. Autologous Bone Marrow-Derived Stem Cell Therapy for Asherman's Syndrome and Endometrial Atrophy: A 5-Year Follow-up Study // *J Hum Reprod Sci*. — 2020–13 (1) — P. 31–37.
14. Singh N., Mohanty S., Seth T., Shankar M., Bhaskaran S., Dharmendra S. Autologous stem cell transplantation in refractory Asherman's syndrome: A novel cell based therapy // *J Hum Reprod Sci*. — 2014–7 (2) — P. 93–8
15. Santamaria X., Cabanillas S., Cervelló I., Arbona C., Raga F., Ferro J., Palmero J., Remohí J., Pellicer A., Simón C. Autologous cell therapy with CD133+ bone marrow-derived stem cells for refractory Asherman's syndrome and endometrial atrophy: a pilot cohort study // *Hum Reprod*. — 2016. — 31 (5) — P.1087–96.
16. Sfakianoudis K., Simopoulou M., Nitsos N., Lazaros L., Rapani A., Pantou A., Koutsilieris M., Nikas Y., Pantos K. Successful Implantation and Live Birth Following Autologous Platelet-rich Plasma Treatment for a Patient with Recurrent Implantation Failure and Chronic Endometritis. // *In Vivo*. — 2019–33 (2) . — P. 515–521.
17. Bos-Mikich A., Ferreira M.O., de Oliveira R., Frantz N. Platelet-rich plasma or blood-derived products to improve endometrial receptivity // *J Assist Reprod Genet*. — 2019–36 (4) — P. 613–620.
18. Kunicki M., Łukaszuk K., Liss J., Skowrońska P., Szczypkańska J. Granulocyte colony stimulating factor treatment of resistant thin endometrium in women with frozen-thawed blastocyst transfer // *Syst Biol Reprod Med*. — 2017–63 — P. 49–57.

19. Доброхотова Ю.Э., Ганковская Л.В., Боровкова Е.И., Зайдиева З.С., Скальная В.С. Модулирование локальной экспрессии факторов врожденного иммунитета у пациенток с хроническим эндометритом и бесплодием / Акушерство и гинекология. — 2019. — № 5. — С. 125–132.
20. Kovaleva Y.V. The application of low-frequency ultrasound for the comprehensive treatment and rehabilitation of the patients presenting with chronic endometritis // Voprosy kurortologii, fizioterapii, i lechebnoi fizicheskoi kultury. — 2017–94 (3) — P. 32–38. DOI: 10.17116/kurort201794332–38.

---

© Кушнир Екатерина Константиновна ( Katerina.kushnir2020@mail.ru ), Иванченкова Валерия Валерьевна ( ivanchenkovavaleriya@yandex.ru ), Муравлянцева Мария Михайловна ( marym200799@gmail.com ), Шаляпина Анна Викторовна ( annaShal1@mail.ru ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Тверь

# ПРИМЕНЕНИЕ ТРАНСПЛАНТАТОВ ДЛЯ АУГМЕНТАЦИИ МЯГКИХ ТКАНЕЙ В ОБЛАСТИ ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТОВ

## THE USE OF GRAFTS FOR SOFT TISSUE AUGMENTATION AROUND THE DENTAL IMPLANTS

**N. Makarova  
M. Slukina  
A. Peskova**

*Summary.* The objectives of implantological treatment are to ensure the stability of the dental implant in the long term, aesthetics and reducing the risk of complications. According to modern scientific ideas, the solution of these problems requires an adequate volume of attached keratinized mucosa around the implants. The article discusses the features of the use of auto-, allo- and xenogenic transplants to create an optimal soft-tissue environment of a dental implant.

*Keywords:* dental implantation, connective tissue autograft, gingival biotype, free gingival graft, subepithelial connective tissue graft, collagen matrix, allogenic dermal matrix.

**Макарова Надежда Игоревна**

*К.м.н., доцент, Пензенский государственный университет  
n1stom@yandex.ru*

**Слукина Марина Сергеевна**

*Пензенский государственный университет  
m\_slukina@mail.ru*

**Пескова Анастасия Витальевна**

*Пензенский государственный университет  
peskova220@gmail.com*

*Аннотация.* Задачами имплантологического лечения является обеспечение стабильности дентального имплантата в долгосрочной перспективе, эстетики и снижение риска возникновения осложнений. Согласно современным научным представлениям, решение данных задач требует наличия адекватного объема неподвижной кератинизированной слизистой вокруг имплантатов. В статье рассматриваются особенности применения ауто-, алло- и ксеногенных трансплантатов для создания оптимального мягкотканного окружения дентального имплантата.

*Ключевые слова:* дентальная имплантация, соединительнотканый ауто-трансплантат, биотип десны, свободный десневой трансплантат, субэпителиальный соединительнотканый трансплантат, коллагеновая матрица, аллогенная дермальная матрица.

## Введение

**Ф**енотип десны играет важную роль в эстетической стоматологии, пародонтологии, имплантологии, ортодонтии. Наличие достаточного объема прикрепленной слизистой при дентальной имплантации имеет существенное значение для воссоздания естественных контуров тканей, а также для достижения более долгосрочного результата протезирования и профилактики воспалительных явлений вокруг имплантатов [3, 37, 41].

Для определения основных характеристик десны в стоматологии используется термин «биотип десны», который в первую очередь включает толщину десны, но также учитывает высоту межзубных сосочков и выраженность кривизны десневого контура. Определение биотипа десны необходимо на этапе диагностики, так как этот параметр оказывает существенное влияние на выбор тактики и прогноз лечения [13, 17, 36, 42].

Различают два основных биотипа десны: тонкий и толстый. Для тонкого биотипа характерны высокие

межзубные сосочки, выраженные фестончатые края, тонкая прозрачная слизистая. Ткани пародонта склонны к атрофии, зернистый и шиповатый слои менее выражены. В микропрепаратах определяются капилляры и артериолы преимущественно с более узким просветом, чем при толстом [15, 16, 25].

Толстый биотип имеет плотную структуру слизистой оболочки, хорошо васкуляризированные ткани пародонта, содержащие большое количество коллагеновых и эластических волокон, ровные края десны с менее выраженной кривизной, невысокие и широкие межзубные сосочки. Толщина десны более 1,0–1,5 мм [13, 15, 46].

Выделяют также «смешанный» биотип десны, как промежуточный фенотип между тонким и толстым [13, 28, 33, 46].

Целый ряд авторов указывают, что тонкий биотип десны сопряжен с повышенным риском возникновения рецессии десны и резорбции костной ткани после имплантологического лечения, при толстом же биоти-



Преимуществами применения данного вида трансплантатов являются относительная простота забора трансплантата, возможность получения графта большой протяженности, способ может быть использован для одновременного увеличения толщины и ширины зоны кератинизированной прикрепленной десны (ЗКПД) [2, 5, 9].

К недостаткам СДТ следует отнести ограничение его применения в области фронтальной группы зубов из-за неудовлетворительного эстетического результата, формирования эффекта «заплатки». Метод менее прогнозируемый, поскольку его приживление находится в зависимости от скорости восстановления кровообращения со стороны реципиентного ложа, другая же поверхность остается экспонированной в ротовой полости. Также существует риск осложнений в области забора трансплантата, таких как болевые ощущения, кровотечение, развитие инфекции [2, 5, 6, 14, 45].

Свободный десневой трансплантат используется в основном при вестибулопластике, с целью увеличения толщины и ширины ЗКПД.

ССТ — это фрагмент слизистой оболочки, состоящий из соединительной ткани и лишенный эпителия. Выделяют 2 области забора ССТ: область твердого неба и ретромолярная область (бугор верхней челюсти).

Эти участки имеют различия в гистологическом строении. Так, трансплантаты с области твердого неба более васкуляризованы, характеризуются меньшим объемом коллагеновых волокон и более богаты жировой и железистой тканью [14, 34, 35, 37, 45].

Основные преимущества и недостатки ССТ из области твердого неба и ретромолярной области верхней челюсти представлены в таблице 1.

Таким образом, выделяют следующие преимущества ССТ: увеличение плотности и толщины мягких тканей; обеспечение гармоничного и эстетичного вида десны в области имплантата [26, 39, 43, 45]; в раннем послеоперационном периоде возможно достичь лучшее начальное питание трансплантата, так как кровоснабжение во время интеграции тканей обеспечивается из покрывного лоскута и реципиентного ложа [2, 14, 45].

К недостаткам можно отнести вероятность первичной «усадки» из-за сокращения объема трансплантата [39, 45], послеоперационный дискомфорт и онемение в области донорского операционного поля, вероятность кровотечения, особенно при заборе из области твердого неба [3, 6, 18, 43]. Подобно СДТ, субэпителиальный трансплантат требует надежной фиксации к ре-

ципиентному ложу для достижения максимальной площади контакта между ними, и достаточной первичной перфузии [11, 27, 45].

Соединительнотканые трансплантаты при дентальной имплантации используют для увеличения объема мягких тканей в зоне десневой манжетки, реконструкции межзубного сосочка, маскировки видимых компонентов имплантата в будущем [27, 38, 41, 45].

Общие недостатки применения аутогенных трансплантатов, такие как ограниченный объем донорских зон, дополнительная травма для пациента, увеличение операционного времени, спровоцировали поиск новых решений для увеличения объема мягких тканей.

Альтернативой аутогенным трансплантатам являются ксеноматериалы [40]. Исследования последних лет показывают эффективность применения ксеногенных материалов для увеличения толщины слизистой в области десневой манжеты дентального имплантата [1, 7, 20].

Среди особенностей работы с данными трансплантатами Дзыгарь А.А., Гребнев Г.А., соавт. (2021) указывают на набухание коллагеновой матрицы в послеоперационном периоде и, как следствие, возможное прорезание швов и потерю материала, что требует тщательного ушивания операционной раны.

Рандомизированные контролируемые исследования F. Cairo и соавт., (2017), И. Ашурко и соавт. (2022) сравнивали результаты аугментации десны в области дентального имплантата через 3 и 6 месяцев после операции с использованием аутогенного субэпителиального соединительнотканного трансплантата и ксеногенного коллагенового матрикса (ККМ). Оба исследования показали достоверное увеличение толщины десны, однако больший прирост с вестибулярной стороны был отмечен после применения ССТ.

De Angelis и соавт. (2023) показали большее увеличение толщины десны при использовании соединительнотканного аутогенного трансплантата по сравнению с ксеногенным матриксом через 1 год после вмешательства. При этом применение ККМ также позволило получить достоверный прирост толщины слизистой, по сравнению с ее исходным значением.

Ксеногенный коллагеновый матрикс показал свою эффективность и при применении для увеличения ЗКПД. Однако сохраняется проблема сокращения аугментата в течение первого года после операции [3, 32, 39].

Таким образом, ксеноматериал представляет собой высокоэффективную альтернативу в условиях, когда при-

менение аутотрансплантата нежелательно или невозможно. Данный подход позволяет получить увеличение толщины десны, имеет хорошую динамику заживления и является прогнозируемым средством для проведения мягкой тканевой аугментации в области имплантатов. Кроме того, он показал хорошие эксплуатационные свойства при сокращении времени операции, а также позволяет снизить риск осложнений в послеоперационном периоде [1, 39]. Тем не менее, с точки зрения увеличения толщины мягких тканей, применение аутогенных трансплантатов представляется более эффективным [19, 22, 24].

Еще одной альтернативой аутотрансплантатов является применение аллогенных материалов. В публикациях, посвященных аугментации десны в области имплантатов и устранению рецессии десны у естественных зубов чаще упоминается бесклеточная дермальная матрица, полученная из образцов человеческой кожи [21, 23, 31].

Согласно исследованиям, применение аллогенной дермальной матрицы позволяет увеличить толщину десны и ширину ЗКПД, однако полученные результаты уступают аутотрансплантатам в части получения прироста тканей [23, 31].

Основными преимуществами использования аллотрансплантатов является возможность их применения при большой площади дефекта без создания дополнительной травмы для пациента при использовании донорских зон, что обуславливает их применение при вестибулопластике. Отмечается, что использование аллогенной матрицы при данной процедуре также позволяет избежать эффекта «заплатки», характерного для СДТ [21, 23, 45].

Факторами, ограничивающими применение алломатериалов, являются определенные этические сложности их получения, а также риск переноса инфекции, что может снижать доверие к ним как пациентов, так и врачей [45].

Как следует из литературных источников, механические и биологические свойства алло- и ксеноматериалов позволяют им служить каркасом для клеток и сосудов, создают условия для адекватной регенерации тканей. Из отрицательных черт данных трансплантатов стоит отметить удорожание стоимости лечения, получение меньшего прироста тканей, «усадку» материала.

## Заключение

Применение метода трансплантации соединительной ткани — общепринятый, безопасный и прогнозируемый способ увеличения объемов мягкой ткани в области имплантатов, способствующий стабильности результата лечения на длительный срок.

В результате проведенного анализа материалов, применяемых при увеличении объемов десны, установлено, что наиболее востребованными являются аутогенные трансплантаты, несмотря на болезненность и риски проводимой операции.

В случаях, требующих большого количества пластического материала и при нежелании пациента получения дополнительной операционной травмы в донорской зоне, использование аллогенных и ксеногенных трансплантатов представляется весьма работоспособной альтернативой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аджиева, А.Б. Использование объемно-стабильной коллагеновой матрицы для коррекции объема мягких тканей / А.Б. Аджиева, З.С. Хабазде, Я.А. Еллыбаев, Ш. Дж. Хоссаин // *Эндодонтия Today*. — 2020. — Т. 18, № 4. — С. 65–68.
2. Антипова, Е.В. Виды десневых трансплантатов и их применение в пародонтологической стоматологии / Е.В. Антипова, О.Ю. Пономарев // *Пародонтология*. — 2016. — Т. 21, № 2 (79). — С. 24–28.
3. Брайловская, Т.В. Увеличение ширины кератинизированной прикрепленной десны у пациентов при проведении дентальной имплантации / Т.В. Брайловская, А.П. Ведяева, Р.В. Калинин, Э.А. Гарибян, З.А. Тангиева, А.М. Дениев // *Сеченовский вестник*. — 2018. — № 4 (34). — С. 5–15.
4. Буланов, С.И. Профилактика резорбции костной ткани в периимплантатной зоне путем применения соединительно-тканного трансплантата на питающей ножке / С.И. Буланов, А.Д. Лысов, М.В. Софронов // *Вестник медицинского института Реавиз*. — 2017. — № 6. — С. 89–94.
5. Грудянов, А.И. Сравнительный анализ отдаленных результатов использования различных ауто- и аллотрансплантатов для создания зоны кератинизированной десны при вестибулопластике на нижней челюсти / А.И. Грудянов, А.В. Николаев // *Стоматология*. — 2016. — Т. 95. — № 1. — С. 40–43.
6. Давидян, А.Л. Использование альтернативного источника субэпителиального соединительнотканного трансплантата // *Пародонтология*. — 2007. — № 4 (45). — С. 35–40.
7. Дзыгарь, А.А. Использование опорных формирователей для увеличения объема мягких тканей при дентальной имплантации / А.А. Дзыгарь, Г.А. Гребнев, М.И. Музыкин, А.К. Иорданишвили, Т.А. Шмидт // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции*. Под редакцией В.В. Никитенко, В.А. Железняк. Санкт-Петербург. — 2021. — С. 43–48.
8. Долгалев, А.А. Метод увеличения объема прикрепленной слизистой полости рта в области установленных имплантатов / А.А. Долгалев, Д.А. Брусницын // *Dental Magazine*. — 2017. — № 4 (160). — С. 60–64.



9. Дурново, Е.А. Управление мягкими тканями как залог успешного и прогнозируемого имплантологического лечения / Е.А. Дурново, Е.С. Галкина, Н.Б. Рунова, А.И. Корсакова // *Dental Forum*. — 2020. — № 4 (79). — С. 20–22. — EDN DBPPDV.
10. Дурново, Е.А. Повышение эффективности гингивопластики с использованием свободных аутотрансплантатов твердого неба / Е.А. Дурново, А.В. Миронова, А.А. Артифексова, Н.А. Беспалова // *Стоматология*. — 2013. — № 92 (6). — С. 33–36.
11. Едранов, С.С. Морфогенез свободного десневого трансплантата / С.С. Едранов, Р.А. Керзиков // *Российский стоматологический журнал*. — 2017. — Т. 21. — № 2. — С. 111–116.
12. Ибрагим, Э.Р. Прогнозирование ширины прикрепленной десны в зоне дентальной имплантации // *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*. — 2013. — Т. 8. — № 3. — С. 36–38.
13. Костионова-Овод, И.А. Биотип десны и методы его оценки (обзор литературы) / И.А. Костионова-Овод, Д.А. Трунин, А.М. Нестеров, М.И. Садыков // *Институт стоматологии*. — 2020. — № 1 (86). — С. 86–87.
14. Кулаков, А.А. Современные подходы увеличения объема мягких тканей в области зубов и имплантатов с использованием соединительнотканых аутотрансплантатов / А.А. Кулаков, В.А. Бадалян, Д.А. Паринов, А.Ю. Мартиросова // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. — 2020. — № 2. — С. 69–73.
15. Саркисян, В.М. Морфологические особенности десны разных биотипов / В.М. Саркисян, О.В. Зайратьянц, А.М. Панин, М.Г. Панин // *Пародонтология*. — 2012. — Т. 17. — № 1. — С. 26–29.
16. Хабазде, З.С. Сравнительная характеристика эффективности методов трансформации тонкого биотипа десны в толстый / З.С. Хабазде, Ф.Р. Коджакова, М.М. Минцаев, Д.Д. Семенова, А.С. Карнаева, З.М. Гасанова, В.М. Слонова // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. — 2019. — № 6. — С. 189–196.
17. Amid, R. Assessment of gingival biotype and facial hard/soft tissue dimensions in the maxillary anterior teeth region using cone beam computed tomography / R. Amid, M. Mirakhori, Y. Safi, M. Kadkhodazadeh, M. Namdari // *Archives of Oral Biology*. — 2017. — Vol.79. — P.1–6.
18. Amin, P.N. Tuberosity versus palatal donor sites for soft tissue grafting: A split-mouth clinical study / P.N. Amin, N.F. Bissada, P.A. Ricchetti, A.P.B Silva, C.A. Demko // *Quintessence Int*. — 2018. — Vol. 49. — P. 589–598.
19. Ashurko, I. Connective tissue graft versus xenogeneic collagen matrix for soft tissue augmentation at implant sites: a randomized-controlled clinical trial / I. Ashurko, S. Tarasenko, A. Esayan, A. Kurkov, K. Mikaelyan, M. Balyasin, A. Galyas, J. Kustova, S. Taschieri, S. Corbella // *Clin Oral Investig*. — 2022. Vol.26 (12). — P.7191–7208.
20. Bassetti, R.G. Soft tissue augmentation around osseointegrated and uncovered dental implants: a systematic review / R.G. Bassetti, A. Stähli, M.A. Bassetti, A. Sculean // *Clin Oral Investig*. — 2017. — Vol.21 (1). — P. 53–70.
21. Bhola, M. Acellular dermal allograft for vestibuloplasty — an alternative to autogenous soft tissue grafts in preprosthetic surgical procedures: A clinical report / M. Bhola, D.H. Newell, E.B. Hancock // *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic, and Reconstructive Dentistry*. — 2003. — № 12 (2). — P.133–137.
22. Cairo, F. Xenogeneic collagen matrix versus connective tissue graft for buccal soft tissue augmentation at implant site. A randomized, controlled clinical trial / F. Cairo, L. Barbato, P. Tonelli, G. Batalocco, G. Pagavino, M. Nieri // *J Clin Periodontol*. — 2017. — Vol.44 (7). — P. 769–776.
23. Cevallos, C.A.R. Free gingival graft and acellular dermal matrix for gingival augmentation: a 15-year clinical study / C.A.R. Cevallos, D.R.B. de Resende, C.A. Damante, A.C.P. Sant'Ana, M.L.R. de Rezende, S.L.A. Gregghi, M.S.R. Zangrando // *Clin Oral Investig*. — 2020. — Vol. 24 (3). — P.1197–1203.
24. De Angelis, P. Xenogeneic collagen matrix versus connective tissue graft for soft tissue augmentation at immediately placed implants: a prospective clinical trial / P. De Angelis, E. Rella, P.F. Manicone, M.G. Liguori, G. De Rosa, C. Cavalcanti, N. Galeazzi, A. D'Addona // *Int J Oral Maxillofac Surg*. — 2023. — Feb 18: S0901–5027 (23) 00023–1. doi: 10.1016/j.ijom.2023.01.019. Epub ahead of print. PMID: 36801183.
25. De Rouck, T. The gingival biotype revisited: transparency of the periodontal probe through the gingival margin as a method to discriminate thin from thick gingiva / T. De Rouck, R. Eghbali, K. Collys, H. De Bruyn, J. Cosyn // *Journal of Clinical Periodontology*. — 2009. — Vol. 36 (5). — P. 428–433.
26. Eghbali, A. Ultrasonic Assessment of Mucosal Thickness around Implants: Validity, Reproducibility, and Stability of Connective Tissue Grafts at the Buccal Aspect / A. Eghbali, H. De Bruyn, J. Cosyn, I. Kerckaert, T. Van Hoof // *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. — 2016. — Vol. 18 (1). — P. 51–61.
27. Feuillet, D. Interproximal Tunneling with a Customized Connective Tissue Graft: A Microsurgical Technique for Interdental Papilla Reconstruction / D. Feuillet, J.F. Keller, K. Agossa // *The International journal of periodontics & restorative dentistry*. — 2018. — Vol. 38. — P. 833–839.
28. Fischer, K.R. Gingival biotype revisited — novel classification and assessment tool / K.R. Fischer, A. Künzberger, N. Donos, S. Fickl, A. Friedmann // *Clinical Oral Investigations*. — Vol. 22 (1). — P.443–448.
29. Monje, A. Significance of keratinized mucosa /gingiva on periimplant and adjacent periodontal conditions in erratic maintenance compliers / A. Monje, G. Blasi // *Journal of Periodontology*. — 2019. — Vol. 90 (5). — P. 445–453.
30. Perussolo, J. Influence of the keratinized mucosa on the stability of peri-implant tissues and brushing discomfort: A4-year followup study / J. Perussolo, A.B. Souza, F. Matarazzo, R.P. Oliveira, M.G. Araujo // *Clinical Oral Implants Research*. — 2018. — Vol. 29. — P. 1177–1185.
31. Puisys, A. The use of acellular dermal matrix membrane for vertical soft tissue augmentation during submerged implant placement: a case series / A. Puisys, E. Vindasiute, L. Linkeviciene, T. Linkevicius // *Clin Oral Implants Res*. — 2015. — Vol. 26 (4). — P. 465–470.
32. Qiu, X. Xenogeneic collagen matrix versus free gingival graft for augmenting keratinized mucosa around posterior mandibular implants: a randomized clinical trial / X. Qiu, X. Li, F. Li, D. Hu, Z. Wen, Y. Wang, J. Zhang // *Clin Oral Investig*. — 2023 Jan 13. doi: 10.1007/s00784–022–04853–8. Epub ahead of print. PMID: 36637519.
33. Rasperini, G. The Influence of Gingival Phenotype on the Outcomes of Coronally Advanced Flap: A Prospective Multicenter Study / G. Rasperini, M. Codari, L. Paroni, S. Aslan, E. Limiroli, C. Solís-Moreno, K. Suckiel-Papiór, L. Tavelli, R. Acunzo // *Int J Periodontics Restorative Dent*. — 2020. — Vol. 40 (1): e27–e34.

34. Rojo, E. Soft tissue stability around dental implants after soft tissue grafting from the lateral palate or the tuberosity area — A randomized controlled clinical study / E. Rojo, G. Stroppa, I. Sanz-Martín, O. Gonzalez-Martín, J. Nart // *J Clin Periodontol.* — 2020. — Vol. 47 (7) . — P. 892–899.
35. Sanz-Martín, I. Structural and histological differences between connective tissue grafts harvested from the lateral palatal mucosa or from the tuberosity area / I. Sanz-Martín, E. Rojo, E. Maldonado, G. Stroppa, J. Nart, M. Sanz // *Clinical Oral Investigations.* — 2019. — Vol. 23 (2) . — P. 957–964.
36. Seba, A. Gingival biotype and its clinical significance. — A review / A. Seba, K.T. Deepak, R. Ambili, C. Preeja, V. Archana // *The Saudi Journal for Dental Research.* — 2014. — Vol. 5 (1) . — P. 3–7.
37. Tavelli, L. Is a soft tissue graft harvested from the maxillary tuberosity the approach of choice in an isolated site? / L. Tavelli, S. Barootchi, H. Greenwell, H.L. Wang // *Journal of Periodontology.* — 2019. — Vol. 90 (8) . — P. 821–825.
38. Thoma, D.S. Effects of soft tissue augmentation procedures on periimplant health or disease: A systematic review and meta-analysis / D.S. Thoma, N. Naenni, E. Figuero, H.F. Christoph, C.H.F. Hämmerle, F. Schwarz, R.E. Jung, I. Sanz-Sánchez // *Clinical Oral Implants Research.* — 2018. — Vol. 29 (9) . — P. 32–49.
39. Thoma, D.S. Clinical and histologic evaluation of different approaches to gain keratinized tissue prior to implant placement in fully edentulous patients / D.S. Thoma, A. Alshihri, A. Fontollet, C.H.F. Hämmerle, R.E. Jung, G.I. Benic // *Clin Oral Investig.* — 2018. — Vol. 22 (5) . — P. 2111–2119.
40. Urban, I.A. Evaluation of the Combination of Strip Gingival Grafts and a Xenogenic Collagen Matrix for the Treatment of Severe Mucogingival Defects: A Human Histologic Study / I.A. Urban, K. Nagy, S. Werner, M. Meyer // *The International journal of periodontics & restorative dentistry.* — 2019. — Vol. 39. — P. 9–14.
41. Vaténas, I. The use of the connective tissue graft from the palate for vertical soft tissue augmentation during submerged dental implant placement: A case series / I. Vaténas, T. Linkevičius // *Clin Exp Dent Res.* — 2022. — Vol. 8 (5) . — P.1103–1108.
42. Younes, F. Relationship between buccal bone and gingival thickness revisited using non-invasive registration methods / F. Younes, A. Eghbali, M. Raes, T. De Bruyckere, J. Cosyn, H. De Bruyn // *Clinical Oral Implants Research.* — 2015. — Vol. 27 (5) . — P.523–528.
43. Zucchelli, G. Patient morbidity and root coverage outcome after subepithelial connective tissue and de-epithelialized grafts: a comparative randomized-controlled clinical trial /G. Zucchelli, M. Mele, M. Stefanini, C. Mazzotti, M. Marzadori, L. Montebugnoli, M. de Sanctis // *J Clin Periodontol.* — 2010. — Vol. 37 (8) . — P.728–38.
44. Zucchelli, G. Autogenous soft tissue grafting for periodontal and peri-implant plastic surgical reconstruction / G. Zucchelli, L. Tavelli, M.K. McGuire, G. Rasperini, S.E. Feinberg, H.L. Wang, W.V. Giannobile // *J Periodontol.* — 2020. — Vol. 91 (1). P. 9–16.
45. Zühr, O. The addition of soft tissue replacement grafts in plastic periodontal and implant surgery: critical elements in design and execution / O. Zühr, D. Bäumer, M. Hürzeler // *Journal of Clinical Periodontology.* — 2014. — Vol. 41. — P.123–142.
46. Zweers, J. Characteristics of periodontal biotype, its dimensions, associations and prevalence: a systematic review / J. Zweers, R.Z. Thomas, D.E. Slot, A.S. Weisgold, F.G.A. Van der Weijden // *Journal of Clinical Periodontology.* — 2014. — Vol. 41 (10) . — P. 958–971.

---

© Макарова Надежда Игоревна ( n1stom@yandex.ru ),

Слукина Марина Сергеевна ( m\_slukina@mail.ru ), Пескова Анастасия Витальевна ( peskova220@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ МЕЛАНОМЫ

## MODERN ASPECTS OF SURGICAL TREATMENT OF MELANOMA

**I. Mikhailov  
K. Kozyreva**

The article describes new approaches to the surgical treatment of primary melanoma, lentigo maligna and superficial melanoma in situ, surgical margins depending on the Breslow index, new prognostic factors such as histological ulceration, treatment of lymph node pools, sentinel lymph node biopsy, indications for it, features of treatment of locoregional recurrent melanoma.

**Keywords:** surgical treatment of melanoma, localized melanoma, Breslow index, sentinel lymph node biopsy, locoregional recurrent melanoma.

**Михайлов Иван Юрьевич**

Врач-хирург, Городская клиническая больница № 1  
им. Н.И. Пирогова, г. Москва  
svethirurgii@mail.ru

**Козырева Камилла Фаридовна**

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова  
Минздрава России (Сеченовский Университет),  
г. Москва  
kami.k.90@mail.ru

**Аннотация.** В статье описаны новые подходы к хирургическому лечению первичной меланомы, злокачественного лентиго и поверхностно распространенной меланомы in situ, хирургические границы в зависимости от индекса Бреслоу, новые прогностические факторы, такие как гистологическое изъязвление, лечение бассейнов лимфоузлов, биопсия сторожевого лимфоузла, показания к ней, особенности лечения локорегионарной рецидивирующей меланомы.

**Ключевые слова:** хирургическое лечение меланомы, локализованная меланнома, индекс Бреслоу, биопсия сторожевого лимфоузла, локорегионарная рецидивирующая меланнома.

**М**еланوما относится к наиболее агрессивным злокачественным опухолям, что обусловлено быстрым ростом и бурным метастазированием гематогенным и лимфогенным путями. Чаще (87–90% случаев) меланомы поражают кожу (2% среди всех ЗН). Реже (7–8%) она возникает в радужке и сетчатке глаза, мозговой оболочке, пищеводе, в прямой кишке и других внутренних органах. В 3–5% случаев диагностировать локализацию первичной меланомы не удается [2].

Хотя меланомы составляют всего 5% от впервые выявленных злокачественных заболеваний кожи, она является причиной 75% смертей, связанных с новообразованиями кожи. В 2018 г. в Российской Федерации меланомой кожи заболело 11258 человек. В 2017 г. грубый показатель заболеваемости (оба пола) составил 7,6 на 100 тыс. населения, стандартизованный — 4,67 на 100 тыс. населения (4,93 и 4,51 у женщин и мужчин соответственно). В структуре заболеваемости меланомы кожи в 2016 г. составила 1,5% у мужчин и 2% у женщин. Среднегодовой темп прироста заболеваемости за 10 лет составил 3,74% у мужчин и 3,04% у женщин. Средний возраст заболевших оказался равным 61,6 год (оба пола), 61,3 года (мужчины), 61,8 года (женщины). Кумулятивный риск развития меланомы кожи (период 2007–2017 гг., возраст 0–74 года) составил 0,55% [1].

Меланомы преимущественно наблюдаются у молодых людей в возрасте 30–50 лет. Частота заболевания у женщин несколько больше, чем у мужчин. В развитых государствах есть тенденция к быстрому росту заболеваемости меланомой [6].

Актуальным вопросом остается тактика ведения пациентов с меланомой, а именно хирургическое лечение, которое является основным при данном заболевании.

### Хирургическое лечение первичной опухоли

При меланоме единственным вариантом лечения локализованной формы является хирургический. После взятия материала для установления диагноза и измерения микроскопической толщины по Бреслоу, границы операционного поля распространяют вширь и вглубь для полного удаления первичной опухоли и всех метастазов. Глубина терапевтического удаления — обычно до уровня мышечной фасции или глубже, и пока нет оснований для пересмотра этого подхода [9].

Боковые границы хирургического иссечения при инвазивной меланоме зависят от толщины по Бреслоу

и определены по данным рандомизированных контролируемых исследований (РКИ), в которых в общей сложности принимали участие 3300 пациентов, а также Согласительной группы национальных институтов здоровья. В недавнем систематическом обзоре оцененная общая выживаемость продемонстрировала преимущество более широкого удаления (соотношение рисков 1,04; 95% доверительный интервал 0,95–1,15,  $P = 0,4$ ), хотя различия не имели статистической достоверности. Поэтому с уверенностью нельзя исключать незначительное, но потенциально важное различие общей выживаемости между широкой и узкой границами иссечения. Полученных на сегодняшний день данных рандомизированных испытаний недостаточно для определения оптимальных границ иссечения первичной меланомы кожи [9].

Рекомендуются клинически измеряемые во время операции границы иссечения, однако адекватность в дальнейшем должна подтверждаться гистологической оценкой повторного удаления с поправкой на среднее сокращение 20%. Окончательное решение о размере границы должно выноситься после обсуждения с пациентом. Рекомендации должны основываться на основе функциональных и косметических осложнений выбранной границы [10].

По новой классификации AJCC (American Joint Committee on Cancer) очень важным единственным прогностическим фактором наряду с индексом Бреслоу, который влияет на стадирование локализованной меланомы (стадии I и II), является наличие гистологического изъязвления [3].

#### Злокачественное лентиго и поверхностно распространенная меланома in situ

Злокачественное лентиго (ЗЛ) и другие меланомы in situ редко дают метастазы и задачей лечения является полное удаление опухоли с четкой гистологической границей, хотя размер границ пока не установлен. Другого дополнительного лечения не требуется [8].

ЗЛ лечат полным удалением из-за риска субклинической микроинвазии. Такая микроинвазия может быть пропущена инцизионной биопсией из-за ошибки взятия образцов. Риск прогрессирования в инвазивной меланоме количественно определен недостаточно, но для людей старческого возраста такое прогрессирование вряд ли успеет стать угрожающим на протяжении последующей их жизни. Поэтому при определенных конкретных клинических ситуациях может быть целесообразно лечение другими методами, в частности лучевой терапией, или достаточно только наблюдения.

Пока мало доказательств в поддержку криотерапии, такое лечение может повлечь за собой дальнейшее прогрессирование опухоли, которое будет трудно выявить. Говоря о местном лечении имиквимодом пока нет подтвержденной эффективности, поэтому оно может применяться только в контексте клинических испытаний. Если пациента с ЗЛ лечат не хирургическими способами, то основания такого решения должны быть обсуждены и задокументированы всесторонне мультидисциплинарной командой [8].

Локальные рецидивы ЗЛ возникают у примерно 5% пациентов за 2-х летний период. Целесообразно производить иссечение с микрографическим контролем хирургических границ, хотя установить гистологическую очистку иногда достаточно затруднительно. Меланома in situ на акральных участках или коже половых органов также связана с высоким риском локального рецидива, хотя частота таких рецидивов меньше, чем при других типах меланом in situ. Теоретически меланома in situ метастазов не дает, но иногда такие случаи бывают. Это может происходить, когда гистологический регресс маскирует дальнейшее прогрессирование опухоли, вследствие пропущенной микроинвазии или вследствие прогрессирования после неполного удаления опухоли in situ [8].

#### Меланома с толщиной по Бреслоу до 1,0 мм

Рекомендуемые хирургические границы выбраны на основе данных Объединенного группового исследования меланомы 10 Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). В этом рандомизированном испытании сравнивались границы 1 и 3 см для меланом толщиной до 2 мм. При всех исследуемых значениях границ не было ни одного случая локальных метастазов у пациентов с меланомами глубиной < 1 мм при отсутствии различий общей выживаемости. Однако эти выводы были получены на основании анализа данных только 359 пациентов. В исследованиях, проводимых во Франции и Швеции, сравнивались границы 2 и 5 см, и в шведском исследовании в эту группу включали только пациентов с толщиной меланом 0,8 мм и более. Для этой группы была признана безопасной граница 1 см [9].

#### Меланома с толщиной по Бреслоу 1,01–2,0 мм

Исследование ВОЗ в группе границы 1 см показало незначительное превышение частоты локальных метастазов как первого места рецидива. Между группами значений границы 1 и 3 см не было различий общей выживаемости, однако это исследование не имело достаточной мощности для статистически достоверного

Таблица 1. Рекомендуемые границы хирургического иссечения меланомы

Толщина по Бреслоу	Границы иссечения	Уровень доказательности	Степень доказательности
In situ	5 мм граница до обеспечения полного гистологического иссечения	III	B
< 1 мм	1 см	Ib	A
1,01–2 мм	1–2 см	Ib	A
2,01–4 мм	2–3 см	Ib	A
> 4 мм	3 см	Ib	B

установления этого факта. «Межгрупповое исследование меланомы» сравнивало границы 2 и 4 см удаления опухолей толщиной 1–4 мм. Между этими группами не было выявлено различий ни по локальным рецидивам, ни по выживаемости. В двух других исследованиях принимали участие пациенты с меланомой до 2 мм, при лечении которых также применялись границы 2 или 5 см. В этих работах также не было выявлено различий последствий между группами. Ни в одном из исследований не выполнялось прямого сравнения размеров границ 1 против 3 см, 2 против 4 см или 2 против 5 см, ни в одном из исследований со сравнениями относительно границы 2 см, не было установлено преимуществ более крупных границ. Исследования меньших границ (например, границ 1 против 2 см) либо не проводились, либо имели недостаточную мощность для получения четкого вывода об адекватности границы 1 см. Полученные данные показали обоснованность минимальной границы 1 см, хотя граница 2 см имеет равнозначное соответствие. Окончательное решение должно выноситься на основании анатомической локализации, выводов осмотра мультидисциплинарной командой врачей и после обсуждения с проинформированным пациентом [7, 9].

#### Меланома с толщиной по Бреслоу 2,01–4,0 мм

Межгрупповое исследование меланомы не показало различий частоты локальных метастазов между группами пациентов со значениями границы 2 и 4 см. Однако наблюдение отдаленных последствий выявило снижение общей выживаемости в группе границы 2 см, хотя это различие несколько не достигло статистической достоверности. Результаты рандомизированного исследования границы 3 см показали достоверный рост частоты локорегионарных рецидивов у пациентов группы границы 1 см, но снижение связанной с меланомой выживаемости опять же несколько не достигало статистической достоверности, при отсутствии различий общей выживаемости. Значение этого наблюдения неизвестно и результаты испытаний значений границ 2 против 4 см и 1 против 3 см не пригодны для прямо-

го сравнения. Для решения этой неопределенности (а это, вероятно, дело отдаленного будущего, из-за необходимости значительного количества пациентов для выявления различия между границами 2 и 3 см), для минимизации риска локорегионарных и отдаленных метастазов используется рекомендованная ранее позиция. Таким образом, в этой группе требуется граница не менее 2 см, хотя граница 3 см имеет равнозначное соответствие. Окончательное решение должно выноситься на основании анатомической локализации, необходимости в кожной пластике, выводов осмотра мультидисциплинарной командой врачей и после обсуждения с проинформированным пациентом [9].

#### Меланома с толщиной по Бреслоу более 4 мм

В этой группе риск локорегионарных и отдаленных метастазов более 50%. Однако для минимизации риска локорегионарных и отдаленных метастазов здесь действуют те же хирургические задачи. Было проведено рандомизированное исследование, в котором принимали участие пациенты с толщиной меланомы более 4 мм. В данной работе сравнивались границы 1 и 3 см. Результаты показали достоверный рост частоты локорегионарных рецидивов при границе 1 см. При этом уменьшение связанной с меланомой выживаемости несколько не достигало достоверности при отсутствии различий общей выживаемости. Пока нет данных об эффективности границ менее 3 см. Все результаты для этой группы указываются при значении границы 3 см. Также нет признаков необходимости в границе > 3 см. Окончательное решение так же должно выноситься на основании анатомической локализации, необходимости в кожной пластике, выводов осмотра мультидисциплинарной командой врачей и после обсуждения с проинформированным пациентом [9].

Рекомендуемые границы хирургического удаления меланомы приведены в таблице 1 [9].

Некоторые исследователи считают целесообразным использование границ иссечения утвержденных NCCN

(National Comprehensive Cancer Network). Максимальный размер отступа от границы опухоли не превышает 2 см [8].

### Лечение бассейнов лимфоузлов

Обследование и лечение лимфатических бассейнов у пациентов с меланомой проводится мультидисциплинарной командой таким образом, чтобы планирование хирургического лечения и обследование проходили одновременно. Пока нет оснований рекомендовать профилактическую лимфаденэктомию для лечения первичной меланомы, кроме, конечно, случаев, когда эта процедура неизбежна из-за распространения первичной меланомы за пределы бассейна лимфатического узла [7].

БСЛУ (биопсия сторожевых лимфоузлов) была разработана как средство обнаружения первого лимфатического узла, в который осуществляется дренаж из кожи, где возникла меланома. Процедура производится одновременно с окончательным широким удалением первичной меланомы. БСЛУ дает информацию для прогноза и все чаще применяется в клинических испытаниях вспомогательной терапии. Пациенты с меланомой с толщиной Бреслоу 1,2–3,5 мм и положительной БСЛУ имеют 75% пятилетнюю выживаемость по сравнению с 90% при отрицательной БСЛУ. Целесообразность БСЛУ обычно рассматривают для пациентов с меланомой  $\geq 1$  мм, среди которых положительная БСЛУ в 20%. Вместе с тем, при меланоме 1,0 мм частота положительной БСЛУ составляет лишь 5%. Процедура связана с 5% заболеваемостью, что меньше, чем при полном иссечении лимфоузлов. У 20% пациентов с положительной БСЛУ выявляются патологические признаки метастазов в другие регионарные лимфоузлы. Пациентам с положительной БСЛУ обычно назначают финальную лимфаденэктомию. Приблизительно у 5% пациентов не удается определить сторожевой лимфоузел ни с помощью лимфосцинтиграфии, ни хирургически, ни обоими способами. Пациентов предупреждают об этом ограничении. Остается неопределенной важность более детальной оценки сторожевого лимфоузла и ее корреляция с прогнозом. MSLT-1 по общей пятилетней выживаемости не продемонстрировали преимуществ БСЛУ или финальной лимфаденэктомии, также остается невыясненным вопрос, улучшает ли БСЛУ локальный контроль бассейнов лимфатического узла [7, 10].

На сегодняшний день исходя из рекомендаций AJCC БСЛУ рекомендуется при меланоме с индексом Бреслоу 0,8 мм и более или менее 0,8 мм при наличии гистологического изъязвления [7, 10].

Рекомендации по лечению пациентов с клинически отрицательными лимфоузлами:

- ◆ Профилактическое удаление лимфоузлов нецелесообразно;
- ◆ При меланоме IV стадии и выше необходимость в БСЛУ определяется специалистами специализированной мультидисциплинарной команды в области рака кожи;
- ◆ Пациентам объясняют концепцию БСЛУ как процедуры определения стадии опухоли, не имеющей какой-либо доказанной терапевтической ценности;
- ◆ Также объясняют хирургические риски БСЛУ, возможность неудачи поиска сторожевого лимфоузла и получения ложноотрицательного результата [7, 10].

При клинических сомнениях по поводу поражения лимфоузлов рекомендуется пункционно-аспирационная цитология (ПАЦ) лимфоузла. При сохранении сомнений даже при отрицательном результате ПАЦ назначают повторную пункционную аспирацию или трепан-биопсию под визуализационным контролем [7].

Открытая биопсия рекомендуется в случаях, когда сохраняется клиническое подозрение даже при отрицательном результате ПАЦ с успешной аспирацией лимфоцитов. При выполнении открытой биопсии разрез выполняется таким образом, чтобы не было препятствий и риска дальнейшему полному иссечению формального блока регионарных лимфоузлов [7].

Обследование или удаление новообразований бассейна лимфоузла, который дренирует место известной первичной меланомы перед проведением окончательного хирургического лечения может увеличивать риск рецидива меланомы в этом бассейне. Всех пациентов с новообразованиями в бассейне лимфоузла необходимо без какого-либо предварительного обследования срочно направлять в специализированное учреждение для обследования и планирования лечения [7].

Говоря о лечении пациентов с подтвержденными метастазами лимфоузлов радикальную лимфаденэктомию (ЛЭ), должны выполнять исключительно специалисты, которые в год в целом проводят не менее 15 подмышечных или паховых лимфодиссекций [5].

Предоперационное обследование для определения стадии опухоли выполняют аналогично таковому, как при меланоме III стадии. Если такое обследование проводить до операции нецелесообразно, а операция считается необходимой даже при обнаружении отдаленных метастазов, рекомендуется рентгенография и измерение ЛДГ [7, 10].

Образец удаленного блока соответствующим образом маркируется и отправляется на гистологическое исследование. Подмышечная ЛЭ при меланоме должна охватывать все лимфоузлы I–III уровней, что может потребовать иссечения или разделения малой грудной мышцы. Сохраняются сомнения в целесообразности лечения метастазов в паховые лимфоузлы. У 30–44% пациентов с клиническим поражением поверхностных паховых лимфоузлов также поражены тазовые лимфоузлы, и этот риск увеличивается в соответствии с количеством пораженных поверхностных лимфоузлов. При положительности лимфоузла Клоке (лимфатический узел бедренного канала) риск поражения тазовых лимфоузлов колеблется от 44 до 90%. Пока не сообщалось о развитии осложнений в связи с объединенным удалением тазовых и поверхностных лимфоузлов. После подвздошно-пахового удаления пораженных лимфоузлов пальпируемого пахового участка пятилетний срок выживаемости зависит от степени поражения лимфоузлов таза: при одном тазовом лимфоузле — 49%, при двух или трех лимфоузлах — 28%, и при поражении более 3 лимфоузлов — 7% [7].

Возможность проведения паховой ЛЭ рассматривают в следующих случаях:

- ◆ Один клинически пораженный паховый лимфоузел или лимфоузел бедренного треугольника;
- ◆ Один положительный поверхностный паховый сторожевой лимфоузел [7].

Целесообразность подвздошной лимфодиссекции рассматривают в следующих случаях:

- ◆ Более одного клинически пальпируемого пахового лимфоузла и/или лимфоузла бедренного треугольника;
- ◆ КТ- или УЗ-признаки существования более одного пораженного пахового лимфоузла и/или лимфоузла бедренного треугольника, или же поражение тазового лимфоузла;
- ◆ БСЛУ свидетельствует о микроскопическом поражении более одного лимфоузла;
- ◆ Конгломерат паховых лимфоузлов и/или лимфоузлов бедренного треугольника;
- ◆ Микроскопическое или макроскопическое поражение лимфоузла Клоке [7].

Шейные рецидивы должен лечить хирург, специализирующийся на раке кожи головы и шеи, в том числе и меланоме, или мультидисциплинарная команда специалистов в области хирургии головы и шеи, специализирующаяся на меланоме. Выполняется полное (не селективное) удаление рецидивов на шее. Под термином «полное удаление» подразумевается:

- ◆ Радикальное удаление уровней 1–5;

Модифицированное радикальное удаление — то же самое, что описано выше, но с сохранением дополнительного позвоночного нерва, внутренней яремной вены и кивательной мышцы;

- ◆ Расширенное радикальное удаление — радикальное удаление вместе с околоушной и/или задней затылочной цепью [4].

Несмотря на проведение радикальной операции, риск будущих локорегионарных рецидивов составляет 16–32% [4].

#### Локорегионарная рецидивирующая меланوما кожи и мягких тканей

Хирургическое лечение представляет собой вариант выбора для отдельных локальных или регионарных метастазов. Иссечение должно быть клинически и гистологически полным, однако широкая граница не требуется. Множественные малые опухоли дермы (< 1 см) хорошо реагируют на лечение CO<sub>2</sub> лазером. Для опухолевого поражения дермы, которое прогрессирует несмотря на хирургическое удаление или лечение лазером, а также для подкожных или глубоких метастазов на конечностях рассматривают возможность химиотерапии с изолированной инфузией конечности (ИИК) мелфалана и актиномицина D или же с изолированной перфузией конечности (ИПК). ИИК является менее инвазивной процедурой, чем ИПК, и может с легкостью быть повторена, хотя она и не столь эффективна. ИИК целесообразна для пациентов с небольшим объемом поражения (< 5 см) и при наличии сопутствующих заболеваний, которые являются противопоказаниями для ИПК. Пациентам с массивными поражениями (> 5 см) лучше поможет ИПК с применением комбинации мелфалана с фактором некроза опухоли (ФНО), однако недавнее испытание монотерапевтического применения мелфалана не подтвердило преимуществ добавления ФНО. Лучевую терапию можно назначать пациентам, заболевание которых другими способами контролировать не удастся. Пациентов, отбираемых для проведения ИИК/ИПК, должны направлять в специализированные центры. Роль электрохимиотерапии с системным или внутриочаговым введением блеомицина пока еще проходит оценку [7].

Рекомендации по лечению локорегионарной меланомы:

1. Перед проведением формального иссечения блока берутся образцы из лимфоузлов с клиническими подозрениями на меланому с помощью пункционно-аспирационной цитологии (ПАЦ). Если, невзирая на наличие лимфоцитов, ПАЦ дает

- отрицательный результат и подозрения сохраняются, выполняют открытую или трепан-биопсию.
2. Перед иссечением лимфоузлов, который должен проводить исключительно специалист соответствующей специализации, необходимо как можно скорее установить стадию опухоли с помощью КТ-сканирования.
  3. Лечение локорегионарных рецидивов на конечностях носит облегчающий характер. Могут рассматриваться варианты хирургического иссечения, СО2 лазер или изолированная перфузия или изолированная регионарная инфузия конечности [7].

При диссеминированной меланоме хирургическое лечение не показано, применяются различные варианты химиолучевой и таргетной терапии [7].

Таким образом, следуя новым подходам тактики ведения пациентов с меланомой процесс ее лечения представляет собой многоэтапный процесс: ранняя хирургическая экстирпация клинически подозрительного очага и расширение границ («каждая меланрома оперируется 2 раза»), БСЛУ при наличии показаний (глубина 0,8 мм и более либо менее 0,8 мм при наличии гистологического изъязвления) и адьювантное лечение.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каприн А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В. Состояние онкологической помощи населению России в 2018 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; 2019.
2. Adler N.R., Kelly J.W., Guitera P, et al. Methods of melanoma detection and of skin monitoring for individuals at high risk of melanoma: new Australian clinical practice. *Med J Aust* 2019, 210 (1):41–47.
3. El Sharouni M.A., Aivazian K., Witkamp A.J., et al. Association of histologic regression with a favorable outcome in patients with stage 1 and stage 2 cutaneous melanoma. *JAMA Dermatol* 2021; 157: 166–173.
4. Hanson J., Demer A., Liszewski W., et al. Improved overall survival of melanoma of the head and neck treated with Mohs micrographic surgery versus wide local excision. *J Am Acad Dermatol* 2020; 82:149–155.
5. Leiter U., Stadler R., Mauch C., et al. German Dermatologic Cooperative Oncology Group. Final Analysis of DeCOG-SLT Trial: No Survival Benefit for Complete Lymph Node Dissection in Patients With Melanoma With Positive Sentinel Node. *J Clin Oncol.* 2019 Nov 10; 37 (32): 3000–3008.
6. Lobl M.B., Santos C., Clarey D., et al. Treatments and associated outcomes of acral lentiginous melanoma: a review. *J Am Acad Dermatol* 2020;83:230–234.
7. Michielin O., van Akkooi A.C.J., Ascierto P.A., et al. ESMO Guidelines Committee. Cutaneous melanoma: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. *Ann Oncol.* 2019 Dec 01; 30 (12): 1884–1901.
8. National Comprehensive Cancer Network. NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology (NCCN Guidelines). Melanoma. Version 2. 2019.
9. Shon W., Frishberg D.P., Gershenwald J., et al. Protocol for the examination of excision specimens from patients with melanoma of the skin, version 4.2.0.0. Accessed March 8, 2021.
10. Swetter S.M., Tsao H., Bichakjian C.K., et al. Guidelines of care for the management of primary cutaneous melanoma. *J Am Acad Dermatol.* 2019 Jan; 80 (1): 208–250.



## АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ В РОССИИ В ПЕРИОД С 2017Г. ПО 2021Г.

### ANALYSIS OF THE INCIDENCE OF DIABETES MELLITUS IN RUSSIA SINCE 2017 BY 2021

**D. Paramonova**  
**E. Pligina**  
**E. Semeleva**

*Summary.* The share of patients with endocrine system pathology is increasing day by day in all economically developed countries. Today the leading place among this group of diseases is occupied by diabetes mellitus, which is a socially significant disease. Diabetes mellitus is understood as a disease caused by absolute or relative production of insulin by the pancreas due to hereditary or environmental factors. The purpose of this article is to analyze the incidence of diabetes mellitus and endocrine diseases in general in the period from 2017 to 2021. To analyze the incidence of endocrine diseases and, in particular, diabetes mellitus, the period from 2017 to 2021 was chosen in order to compare the morbidity for this period. A retrospective analysis of the incidence of diabetes mellitus among the Russian population was conducted on the basis of data provided by the Federal State Statistics Service (Rosstat). As a result of the study, it was found that there was no significant decrease in the incidence of the examined pathology in the country during the study period. Moreover, mortality from endocrine system diseases and, in particular, diabetes mellitus increased in the period from 2017 to 2021.

*Keywords:* endocrine system diseases, diabetes mellitus, hormones, morbidity, antidiabetic drugs, insulin therapy.

**Парамонова Дарья Сергеевна**

Национальный исследовательский Мордовский  
государственный университет им. Н.П. Огарёва  
paramonova@yandex.ru

**Плигина Екатерина Владимировна**

Кандидат медицинских наук, старший  
преподаватель, Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет им.

Н.П. Огарёва

pliginaev@mail.ru

**Семелева Елена Владимировна**

Доктор медицинских наук, Национальный  
исследовательский Мордовский государственный  
университет им. Н.П. Огарёва

shtanina37@mail.ru

*Аннотация.* Доля больных с патологией органов эндокринной системы с каждым днем увеличивается во всех экономически развитых странах. На сегодняшний день ведущее место среди этой группы болезней занимает сахарный диабет, который является социально значимым заболеванием. Под сахарным диабетом понимают заболевание, обусловленное абсолютной или относительной выработкой инсулина поджелудочной железой ввиду наследственных факторов или факторов окружающей среды. Целью данной статьи является проведение анализа заболеваемости сахарным диабетом и эндокринными заболеваниями в целом в период с 2017 г. по 2021 г. Для анализа заболеваемости эндокринными болезнями и, в частности, сахарным диабетом, был выбран период с 2017 г. по 2021 г. с целью сравнения заболеваемости за указанный период. Был проведен ретроспективный анализ заболеваемости сахарным диабетом среди населения России на основе данных, представленных Федеральной службой государственной статистики (Росстатом). В результате проведенного исследования было обнаружено, что за исследуемый период в стране существенного снижения заболеваемости исследуемой патологией не наблюдается. Более того, смертность от заболеваний эндокринной системы и, в частности, сахарного диабета повысилась в период с 2017 г. по 2021 г.

*Ключевые слова:* болезни эндокринной системы, сахарный диабет, гормоны, заболеваемость, сахароснижающие препараты, инсулинотерапия.

### Введение

Эндокринная система представляет собой совокупность анатомически, гистологически и цитологически дифференцированных структур, вырабатывающих гормоны — биологически активные вещества (БАВ), взаимодействующие с рецепторами клеток-мишеней и изменяющие их функционирование [1, с.233; 2, с.225; 3, с.1001]. В большинстве случаев эти

биологически активные вещества синтезируются в анатомически автономных структурах — эндокринных железах, или железах внутренней секреции: гипофиз, эпифиз, щитовидная железа, околощитовидные железы, надпочечники. Эндокринные клетки синтезируют и выделяют молекулы гормона непосредственно в жидкие среды организма (кровь, лимфу, межклеточную жидкость, ликвор и другие). Однако стоит отметить, что ряд гормонов продуцируется совокупностью клеток

или отдельными клетками, не организованными анатомически в виде железы. Эти клетки находятся в самых различных тканях и органах: нейросекреторные клетки гипоталамуса, эндокринные клетки островков Лангерганса поджелудочной железы, эндокринные клетки ЖКТ, интерстициальные клетки почек, эндокринные клетки легких и многие другие [5; 6, с.25] .

Болезни эндокринной системы — это большая группа заболеваний, характеризующихся нарушением работы эндокринных органов, а именно — желез внутренней секреции. При всем разнообразии проявлений данной группы заболеваний, суть их сводится к нарушению выработки гормонов [4, с.204; 7, 506].

Социально значимой болезнью эндокринной системы является сахарный диабет, под которым понимают заболевание, обусловленное абсолютной или относительной выработкой инсулина поджелудочной железой ввиду наследственных факторов или факторов окружающей среды.

Основу питания человека составляют углеводы, которые в желудочно-кишечном тракте подвергаются перевариванию с образованием глюкозы. Таким образом, после приема пищи, уровень глюкозы в крови повышается — это и служит сигналом для клеток поджелудочной железы, именуемых островками Лангерганса, к синтезу и выработке непосредственно в кровотоке инсулина. Он способствует усвоению глюкозы клетками и тканями, регулируя тем самым уровень глюкозы в крови и обеспечивая организм энергией [8; 9, с.88; 10].

При патологии данный гормон не обеспечивает усвоение глюкозы клетками и тканями, причин этому может быть две:

1. Недостаточная выработка инсулина ввиду гибели бета-клеток островков Лангерганса, вследствие чего глюкоза накапливается в крови, а клетки и ткани не получают необходимую для нормальной работы организма энергию — развивается сахарный диабет I типа, главными причинами которого служат вирусная инфекция и наследственная предрасположенность.
2. Невосприимчивость клеток и тканей к инсулину ввиду отсутствия у них должного количества рецепторов, что также приводит к накоплению глюкозы в крови и недостаточному энергообеспечению организма — развивается сахарный диабет II типа, который встречается, как правило у тучных женщин старше 40 лет. Основная причина данной патологии — избыточная масса тела.

Данное заболевание опасно для жизни пациента ввиду развития осложнений со стороны сердечно-со-

судистой, нервной, мочевой и других систем. На сегодняшний день сахарный диабет является неизлечимым заболеванием, однако это не приговор. Своевременная диагностика и должное лечение данной патологии позволяет не только продлить жизнь пациента, но и обеспечить достаточно высокий уровень жизни таким больным.

## Материалы и методы

Для анализа заболеваемости эндокринными заболеваниями и сахарным диабетом, в частности, выбран период с 2017 г. по 2021 г. Применялись аналитический и статистический методы.

## Результаты

В результате проведенного исследования было обнаружено, что за исследуемый период в стране существенного снижения заболеваемости исследуемой патологией не наблюдается. Более того, смертность от заболеваний эндокринной системы и, в частности, сахарного диабета повысилась в период с 2017 г. по 2021 г.

## Обсуждение

Согласно данным Минздрава России [8,10], на сегодняшний день наблюдается спад показателей заболеваемости эндокринными заболеваниями. В 2017 году заболели 2050 тыс. человек, что составило 14,0 чел. на 1000 населения. Уже в 2021 году данный показатель существенно снизился до 1670 тыс. человек, что составило 11,4 чел. на 1000 населения. Однако стоит отметить, что в 2019 году наблюдался резкий подъем заболеваемости патологией органов эндокринной системы — 2117 тыс. человек, что составило 14,4 тыс. человека на 1000 населения (рис. 1) .

Факт снижения заболеваемости патологией эндокринной системы за последние несколько лет безусловно радует, однако не стоит отрицать того, что причиной может быть снижение обращаемости пациентов более старшего возраста за медицинской помощью либо снижение эффективности диагностических мероприятий.

Заболеваемость сахарным диабетом на сегодняшний день существенно не снижается и остается примерно стабильна, периодически возрастая и снижаясь. В 2017 году количество заболевших сахарным диабетом составило 363,5 тыс. человек, что составило 247,6 чел. на 100 тыс. населения, в то время как в 2021 году количество заболевших снизилось незначительно до 346,0 тыс. человек, что составило 237,2 чел. на 100

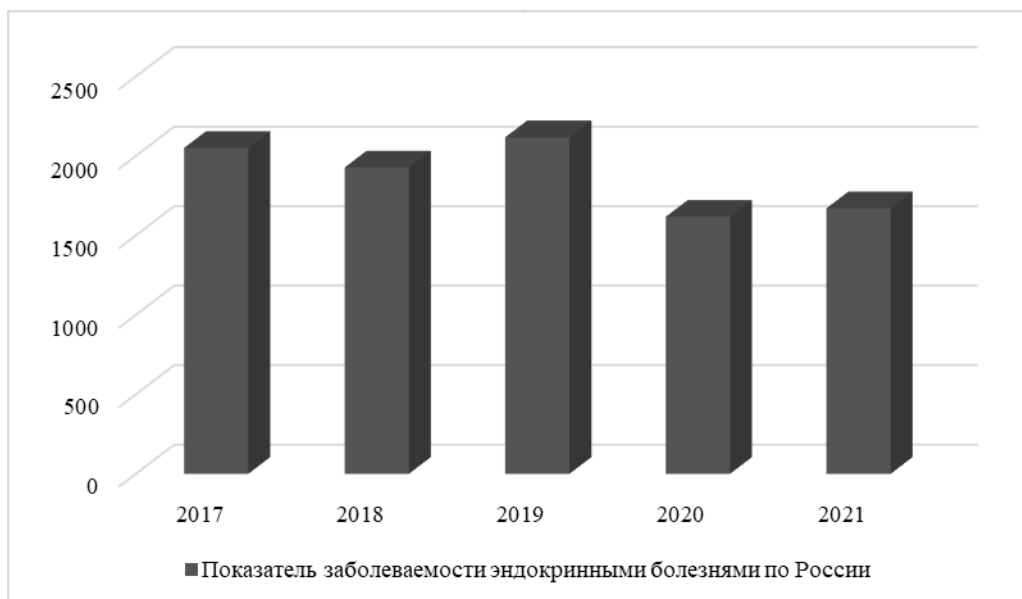


Рис. 1. Сравнительная характеристика заболеваемости эндокринными заболеваниями в России за 2017–2021 гг.

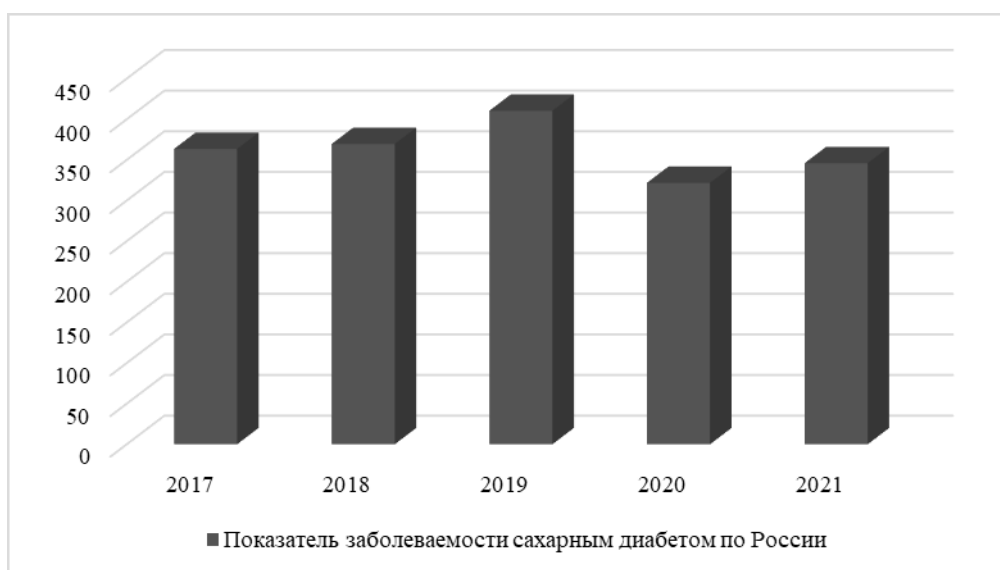


Рис. 2. Сравнительная характеристика заболеваемости сахарным диабетом в России за 2017–2021 гг.

тыс. населения. Самый низкий показатель наблюдался в 2020 году — 321,8 тыс. человек, что составило 219,8 чел. на 100 тыс. населения (рис. 2).

На данный период времени преобладающей формой заболевания является сахарный диабет 2 типа. За исследуемый период отмечается повышение числа заболевших данной патологией. Так, в 2017 году число заболевших СД 2 типа составило 2790,6 на 100 тыс. населения, а в 2021 году уже 3203,1 на 100 тыс. населения. Заболе-

ваемость сахарным диабетом 1 типа имеет тенденцию к увеличению, однако достаточно медленно. В 2017 году число заболевших СД 1 типа составило 175,3 на 100 тыс. населения, а в 2020 году 180,9 чел. на 100 тыс. населения. Стоит отметить, что в 2021 году наблюдался небольшой спад заболеваемости по сравнению с предыдущим годом — 179,7 чел. на 100 тыс. населения (рис.3).

Всемирная организация здравоохранения стремится обеспечить поддержание эффективных мер



Рис. 3. Сравнительная характеристика заболеваемости СД 1 типа и СД 2 типа в России на 100 тыс. населения за 2017–2020 гг.



Рис. 4. Показатель смертности от эндокринных заболеваний по России

по борьбе с сахарным диабетом и его осложнениями. Так, в апреле 2021 года Всемирная организация здравоохранения учредила Глобальный пакт по борьбе с диабетом, направленный на улучшение и лечения и профилактики данной патологии. Данный пакт призван объединить все заинтересованные стороны для достижения общей цели — снижение риска развития сахарного диабета, его профилактики, своевременной и эффективной диагностики, а также должного лечения и ухода за больными сахарным диабетом.

В мае 2021 года Всемирная организация здравоохранения приняла резолюцию по усилению мер профилактики данного заболевания и борьбы с ним. В мае 2022 года Всемирная ассамблея здравоохранения одобрила пять глобальных целей по охвату диагностикой и необходимым лечением сахарного диабета, которые должны быть достигнуты к 2030 году.

Стоит отметить, что сахарный диабет влечет за собой развитие различных осложнений, который могут

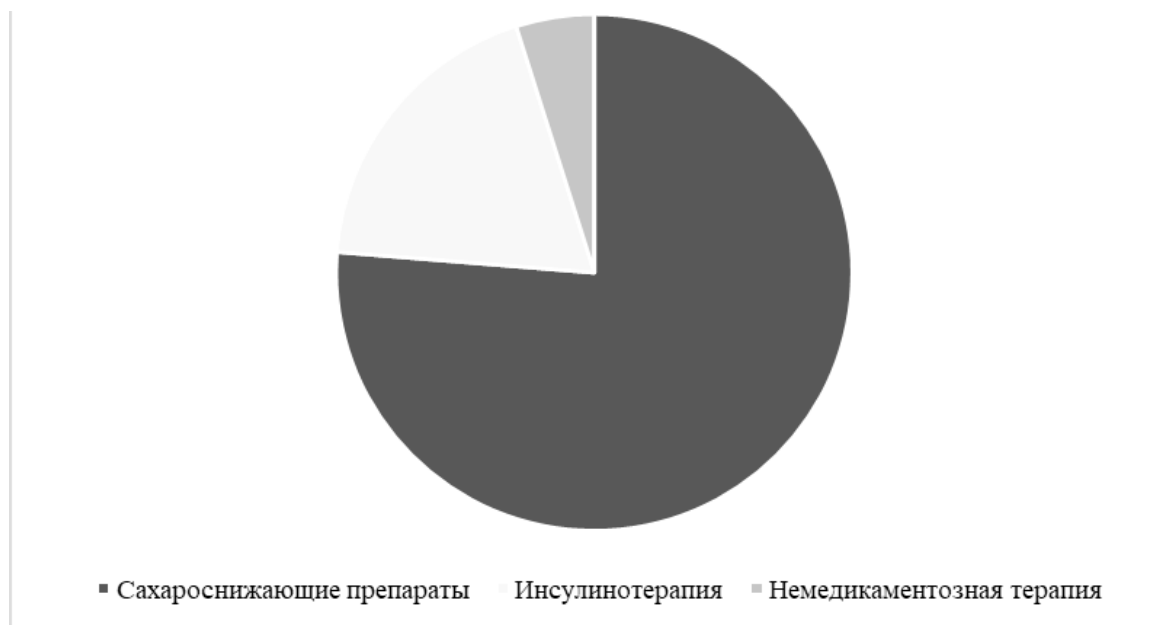


Рис. 5. Структура сахароснижающей терапии СД II типа

стать причиной летального исхода. Так, самым частым осложнением сахарного диабета являются заболевания со стороны сердечно-сосудистой системы. Чаще всего причиной смерти становятся инфаркт миокарда, острая коронарная недостаточность, а также острые сердечно-сосудистые патологии, среди которых особое место занимают нарушение сердечного ритма, ТЭЛА, тромбозы, кардиогенный шок и другие. Согласно статистическим данным, на 2020 год именно эти осложнения стали причиной смерти 38,1% больных СД I типа и 52% больных СД II типа.

Кроме перечисленных осложнений, встречаются также острые и хронические диабетические осложнения, среди которых выделяют диабетическая нейропатия, диабетическая кома, лактоацидотическая кома, а также синдром диабетической стопы, приводящий к развитию язвенно-некротических процессов и гангрены стопы.

За последние 5 лет показатель общей смертности от заболеваний эндокринной системы в России повысился. В 2017 г. от эндокринных заболеваний в России умерло 39283 человека, в 2021 г. умерло 47007 человек. При этом стоит отметить, что пик смертности пришелся на 2020 год — умерло 54670 человек (рис.4).

За последние 5 лет показатель общей смертности от сахарного диабета в России повысился. В 2017 г. от данной патологии в России умерло 36962 человека, в 2021 г. умерло 44433 человек. При этом стоит отметить, что пик смертности пришелся на 2020 год — умерло 51779 человек.

Это можно связать с пандемией COVID-19, т.к. коронавирус унес жизни большого количества людей, в том числе страдающих эндокринными заболеваниями. Данную ситуацию можно рассмотреть с нескольких позиций. С одной стороны, причиной смерти людей, страдающих патологией эндокринной системы, стал коронавирус, с другой стороны, причиной смерти могли стать осложнения сахарного диабета, спровоцированные COVID-19, в частности, со стороны сердечно-сосудистой системы (рис.5).

Структура сахароснижающей терапии в Российской Федерации на 01.01.2021 г. при сахарном диабете II типа включает в себя применение пероральных сахароснижающих препаратов 76,2% пациентов, инсулинотерапию у 18,8% пациентов и немедикаментозную терапию у 4,9% пациентов.

При этом из пациентов, применяющих сахароснижающие препараты, 44,1% используют монотерапию, 28,9% принимают комбинацию из двух сахароснижающих препаратов и 3,2% — из трех сахароснижающих препаратов. Из пациентов, применяющих инсулинотерапию, 11,3% используют комбинацию инсулина и сахароснижающего препарата, а 7,5% — только инсулин. Больные, использующие немедикаментозную терапию, придерживаются определенной диеты (рис.6).

### Заключение

Прошедшие 2020 г. и 2021 г. были сложными. Развитие в мире пандемии новой коронавирусной инфекции

COVID-19 по-новому расставило приоритеты — на первый план вышли своевременная диагностика и лечение больных COVID-19.

Однако врачи-эндокринологи понимали, что лишь своевременная диагностика эндокринных заболеваний и, в частности, сахарного диабета приведет к сни-

жению распространения заболевания и впоследствии к формированию более благоприятной ситуации по заболеваемости данной патологией. Поэтому, вместе с мерами реагирования на эпидемию COVID-19 врачам необходимо приложить усилия для поддержания системы оказания необходимых видов медицинской помощи больным с заболеваниями эндокринной системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Брыжинская А.А. Сахарный диабет как медико-социальная проблема здравоохранения / А.А. Брыжинская, Е.В. Семелева // 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. Том 2. — Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2021. — С. 233–236.
2. Водолагин М.В. Научное обоснование организационно-медицинских мероприятий по повышению эффективности динамического наблюдения за состоянием здоровья пациентов с сахарным диабетом: дис. канд. мед.наук: 14.02.03 / Водолагин Михаил Витальевич; науч. рук. Н.В. Эккерт; ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России — Москва, 2022. — 225 с.
3. Гончарова О.В. Значение «Школ сахарного диабета» в профилактике сахарного диабета и его осложнений у детей и взрослых / О.В. Гончарова, Н.В. Зиминова, Р.И. Девишев // РМЖ. — 2012. — Т. 20, № 20. — С. 1001–1007
4. Дедов И.И. Эпидемиологические характеристики сахарного диабета в Российской Федерации: клинико-статистический анализ по данным регистра сахарного диабета на 01.01.2021 / И.И. Дедов, М.В. Шестакова, О.К. Викулова, А.В. Железнякова, М.А. Исаков // Сахарный диабет. — Москва, 2021; 24 (3); с. 204–221.
5. Кузнецов Е.В. Эндокринные заболевания как медико-социальная проблема современности // Е.В. Кузнецов, Л.А. Жукова, Е.А. Пахомова, А.А. Гуламова // Современные проблемы науки и образования [электронный научный журнал] 2017; 4. <https://science-education.ru/ru/page/rules> (Дата обращения 01 февраля 2023).
6. Першина, Е.Ф. Сахарный диабет, актуальные вопросы сахарного диабета II типа / Е.Ф. Першина, Т.М. Сухоплюева, Д.А. Тарасов // Студенческий форум. — 2020. — № 12 (105) . — С. 25–30.
7. Труш В.В. Физиология эндокринной системы с основами патологии: учебное пособие / В.В. Труш, В.И. Соболев // Донецк, 2020. — 506 с.
8. Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. — Москва. — URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 30.01.2023 г.)
9. Semeleva E.V. Assessment of the level of compliance in surgical patients / E.V. Semeleva, E.A. Davydova, E.V. Pligina // Научный Альманах ассоциации France-Kazakhstan. — 2023. — No. 1. — P. 88–92.
10. World Health Organization: official website. URL: <https://www.who.int/ru> (cited 2023 Feb 01)

© Парамонова Дарья Сергеевна ( [paramonova@yandex.ru](mailto:paramonova@yandex.ru) ),

Плигина Екатерина Владимировна ( [pliginaev@mail.ru](mailto:pliginaev@mail.ru) ), Семелева Елена Владимировна ( [shtanina37@mail.ru](mailto:shtanina37@mail.ru) ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## НОВЕЙШИЕ КОНЦЕПЦИИ В ЛЕЧЕНИИ КОРНЕВЫХ КАНАЛОВ

### THE LATEST CONCEPTS IN ROOT CANAL TREATMENT

**O. Poleshchuk  
I. Umerov  
D. Velichko  
A. Erofeeva  
M. Peylivanov  
Z. Reshidov**

*Summary.* Emerging clinical and histological data challenge the established dogma that root canal treatment is the only therapeutic option for preserving vital mature permanent teeth with a diagnosis of irreversible pulpitis or carious pulp lesion. Vital pulp treatment procedures, such as pulpotomy, are not only technically simpler and more economical, but also provide patients with many other advantages compared to conventional root canal treatment. This descriptive review provides updated information on the current understanding of pulp pathophysiology and protective mechanisms, proposed new diagnostic terms for pulp inflammation, and how the biological characteristics of hydrophilic silicate-calcium cements have made it possible to achieve stable successful results in pulpotomy in mature teeth. The document also details the evidence base of clinical studies and systematic reviews conducted over the past decade, and provides practical recommendations for the treatment of pulpotomy in mature permanent teeth.

*Keywords:* pulpotomy, apexogenesis, intrapulpal pressure, odontoblast-like cells, biodentin, bioceramics, periapical pathologies.

**Полецук Ольга Юрьевна**

Кандидат медицинских наук, доцент  
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет  
имени В.И. Вернадского», Институт «Медицинская  
академия имени С.И. Георгиевского», Россия,  
г. Симферополь  
pol.o.u@inbox.ru

**Умеров Ильяс Фератович**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет  
имени В.И. Вернадского», Институт «Медицинская  
академия имени С.И. Георгиевского», Россия,  
г. Симферополь  
ireasu.u@gmail.com

**Величко Даниил Дмитриевич**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет  
имени В.И. Вернадского», Институт «Медицинская  
академия имени С.И. Георгиевского», Россия,  
г. Симферополь  
velickoliza@gmail.com

**Ерофеева Ангелина Витальевна**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет  
имени В.И. Вернадского», Институт «Медицинская  
академия имени С.И. Георгиевского», Россия,  
г. Симферополь  
Erofeeva.angel@mail.ru

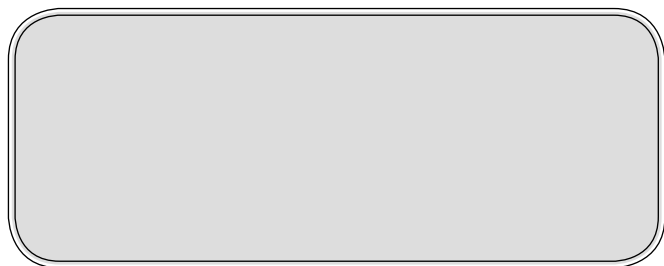
**Пейливанов Михаил Гамлетович**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет  
имени В.И. Вернадского», Институт «Медицинская  
академия имени С.И. Георгиевского», Россия,  
г. Симферополь  
peylivanovm@mail.ru

**Решидов Заир Адильевич**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет  
имени В.И. Вернадского», Институт «Медицинская  
академия имени С.И. Георгиевского», Россия,  
г. Симферополь  
Zair2719@mail.ru

*Аннотация.* Появляющиеся клинические и гистологические данные бросают вызов устоявшейся догме о том, что лечение корневых каналов является единственным терапевтическим вариантом для сохранения постоянных зубов с диагнозом необратимого пульпита. Жизненно важные процедуры лечения пульпы, такие как пульпотомия, не только технически проще и экономичнее, но и предоставляют пациентам множество других преимуществ по сравнению с традиционным лечением корневых каналов. В этом описательном обзоре представлена обновленная информация о современном понимании патофизиологии пульпы и защитных механизмов, предлагаемых новых диагностических критериев воспаления пульпы и о том, как биологические характеристики гидрофильных силикатно-кальциевых цемента позволили добиться стабильных успешных результатов при пульпотомии постоянных зубов. В статье также подробно



**Д**огмы в медицине и стоматологии часто лелеются с безоговорочной верой, несмотря на отсутствие высококачественных доказательств. Смена парадигмы существующих методов лечения часто вызывает сильное сопротивление, даже с риском оказания некачественной помощи пациентам. Одним из таких широко распространенных убеждений является то, что постоянный зуб с диагнозом необратимый пульпит потребует лечения корневых каналов для долгосрочного сохранения зуба. Витальная терапия пульпы, такая как пульпотомия, была ограничена зубами в стадии несформированного корня с целью обеспечения завершения формирования их корней (апексогенеза). Однако в настоящее время появляется все больше свидетельств того, что независимо от стадии формирования корня, если инфекцию и воспаление пульпы можно контролировать, даже «необратимо» воспаленная ткань пульпы оказывается способной к заживлению, что позволяет проводить консервативное лечение таких зубов. Недавние заявления Американской ассоциации эндодонтистов и Европейского общества эндодонтологов пришли к выводу, что «диагностика необратимого пульпита до лечения не обязательно является показанием для пульпэктомии» знаменуя новую эру минимально инвазивной терапии постоянных зубов. Это изменение парадигмы предполагает необходимость для стоматологов рассмотреть возможность пульпотомии в качестве окончательного метода лечения сформированных постоянных зубов с диагнозом необратимого пульпита. В этой статье представлены обоснование, доказательная база и рекомендации по лечению для успешной пульпотомии жизненно важных сформированных постоянных зубов. [1]

Исторически считалось, что пульпа зуба очень уязвима для повреждения тканей в результате бактериальной кариозной атаки и возникающего в результате воспаления. Считалось, что отсутствие эластичности полости зуба и отсутствие коллатерального кровотока ограничивают способность ткани пульпы приспосабливаться к увеличению внутрипульпозного давления или эффективно доставлять гуморальные и клеточные иммунные компоненты к поврежденному участку. Диагностический консенсус заключался в том, что обнаженную в результате кариеса пульпу в зрелых

изложена доказательная база клинических исследований и систематических обзоров, проведенных за последнее десятилетие, и изложены практические рекомендации по лечению необратимого пульпита сформированных постоянных зубов методом пульпотомии.

*Ключевые слова:* пульпотомия, апексогенез, внутрипульпозное давление, одонтобластоподобные клетки, биодентин, биокерамика, периапикальные патологии.

постоянных зубах следует считать необратимо воспаленной на основании того, что основное воспаление распространилось по всей ткани пульпы, и ограниченного кровоснабжения через закрытые верхушки зрелых зубов будет недостаточно для ускорения заживления, даже если повреждение ткани устранено. Однако исследования показали, что пульпа зуба может не только выдерживать умеренное повышение внутрипульпозного давления во время воспаления, но и что пульпа зуба также обладает эффективным иммунным защитным ответом. [2]

Современное понимание патофизиологии и защитных механизмов пульпы зуба подтвердило ранние исследования, которые показали врожденную способность ткани пульпы к самовосстановлению при удалении повреждения. Большое количество фибробластов в ткани пульпы являются единственными неиммунными клетками в организме, способными активировать систему комплемента и играть центральную роль в модуляции потенциала восстановления и заживления пульпы. Помимо фибробластов пульпы, стволовые клетки пульпы сформированного зуба также способствуют регенеративному потенциалу пульпы зрелых постоянных зубов. Последние данные свидетельствуют о том, что защитные механизмы пульпы опосредованы следующими путями: а) активация комплемента фибробластами пульпы обладает значительным противовоспалительным потенциалом, а также способствует регенерации тканей путем рекрутирования предшественников пульпы; б) фибробласты пульпы могут непосредственно индуцировать лизис кариесогенных бактерий; в) хемокины, высвобождаемые из поврежденной пульпы ткани привлекают мезенхимальные стволовые клетки пульпы зуба, которые могут дифференцироваться в одонтобластоподобные клетки и индуцировать репаративное образование дентина; г) синтез и высвобождение антимикробных пептидов стволовыми клетками пульпы зуба. [3]

Гистопатологические и гистобактериологические исследования показали, что в зубах с необратимым пульпитом в пульповой камере имеется колонизированная бактериями некротическая область различных размеров. Однако в нескольких миллиметрах от коло-



низированной бактериями некротической ткани нередко обнаруживается здоровая архитектура пульпы, которая, как правило, свободна от воспаления и бактерий. Врожденные и адаптивные иммунные защитные механизмы позволяют пульпе ограничивать распространение бактериальной инфекции. Если не проводится лечение для удаления инфицированной пульпы, инфекция пульпы в месте кариозного воздействия будет постепенно распространяться и охватывать всю коронковую пульпу, хотя корневая пульпа все еще может оставаться свободной от инфекции. Теоретически, если полностью удалить инфицированную коронковую пульпу, можно создать благоприятную среду для заживления корневой пульпы, поскольку иммуновоспалительные клетки устраняются путем апоптоза, а одонтобластоподобные клетки индуцируют образование дентинного моста. В совокупности гистологическая картина сильно воспаленной пульпы не всегда может быть признаком необратимости инфекции.

Таким образом, современная интерпретация воспаления пульпы включает понимание того, что «необратимый» пульпит не следует рассматривать как односторонний путь к повреждению клеток пульпы и последующему некрозу, а как «обоюдоострый меч», результатом которого может стать так называемое желаемое воспаление при правильном балансе восстановления и заживления пульпы. С другой стороны, если воспаление пульпы длительное и неконтролируемое, это неизбежно приведет к дальнейшему инфицированию пульпы и некрозу тканей. Однако точку разграничения, при которой воспаление пульпы становится действительно необратимым, трудно определить, основываясь только на симптомах пациента и доступных в настоящее время диагностических методов. [4]

Традиционно выявление обратимого/необратимого пульпита основывалось на субъективном описании симптомов пациента и тестах на чувствительность пульпы. Однако простой дихотомический способ описания воспаленной жизненно важной пульпы как обратимого или необратимого пульпита не соответствует современному пониманию биологии пульпы и защитной реакции комплекса пульпы. Поскольку гистологические данные показывают, что нет дискретной границы, которая сделала бы пульпу необратимо воспаленной и не подлежащей восстановлению, возможно, лучше рассматривать пульпит как заболевание, классифицированное во времени и пространстве. Современное понимание воспаления и заживления пульпы привело к призывам пересмотреть существующую диагностическую номенклатуру. [5]

Полная пульпэктомия и последующее пломбирование корневых каналов жизненно важных сформирован-

ных постоянных зубов с необратимым пульпитом могут рассматриваться как профилактическая процедура для предотвращения дальнейшего инфицирования пульпы и последующего развития апикального периодонтита. Нет сомнений в том, что правильно выполненная пульпэктомия с последующей пломбировкой корневых каналов может достичь высоких показателей успеха. К сожалению, перекрестные исследования со всего мира показали, что до 40% пломбированных корневых каналов зубов технически неадекватны с проявлениями периодонтита. Лечение необратимого пульпита у зрелых постоянных зубов с помощью пульпотомии потенциально может иметь ряд преимуществ: а) процедура лечения технически менее сложная, что позволяет избежать осложнений, связанных со сложной анатомией корневого канала; б) при этом сохраняется проприоцептивное ощущение зуба; в) биологический иммунный ответ от сохраненной пульпы ткани могут предотвратить инфекцию апикальной области; г) сохраняется регенеративный и репаративный потенциал пульпы; д) сохраняется структурная целостность зуба, что снижает риск перелома; [6]

Потенциальной проблемой после полной пульпотомии у сформированных постоянных зубов является возникновение облитерации корневого канала, приводящей к апикальному периодонтиту. Тем не менее, развитие воспаления в периапикальных тканях в пульпотомированных постоянных зубах является следствием инфекции пульпы либо из-за микропротекания коронковой реставрации, либо из-за неполной дезинфекции пульпы во время процедуры пульпотомии, а не из-за самой облитерации корневого канала. Кальцификация каналов в пульпотомированных зубах без инфицирования пульпы не приведет к апикальному периодонтиту, и дальнейшее вмешательство в лечении не потребуются.

Лекарственное средство для пульпотомии, которое помещается непосредственно поверх оставшейся ткани пульпы, в идеале должно обеспечивать хорошую и длительную герметизацию от попадания бактерий, стимулировать заживление и восстановление остаточной ткани пульпы и способствовать дентиногенезу. Гидроксид кальция был одним из самых ранних и популярных лекарственных средств, используемых для витальной терапии пульпы на основе его высокой щелочности и способности стимулировать репаративное образование дентина. Тем не менее, гидроксид кальция также вызывал некоторые осложнения во время заживления при размещении непосредственно на пульпу, при этом исследования показывают, что показатели успеха применения гидроксида кальция для витальной терапии пульпы значительно снижаются с течением времени. К недостаткам использования гидроксида

кальция для витальной терапии пульпы относятся: а) туннельные дефекты в новообразованном дентине, приводящие к неэффективной пломбе; б) высокая растворимость в ротовой жидкости; и в) плохая адгезия к дну пульпы из-за его гидрофобности. [7,8,9]

В последние десятилетия появились биоактивные гидрофильные цементы на основе силиката кальция, такие как минеральный триоксидный агрегат, биодентин и биокерамика для использования при витальной терапии пульпы. Эти материалы продемонстрировали более стабильный клинический успех (85–100%) при использовании в качестве лекарственного средства для пульпотомии в сформированных постоянных зубах. [10] Контраст в клинических результатах был особенно резким, когда были проведены прямые сравнения между гидроксидом кальция и цементами на основе силиката кальция для витальной терапии пульпы. Биоактивные цементы нового поколения не только стабильны по размерам и обладают превосходными герметизирующими свойствами, но также обладают полезными биосовместимыми, иммуномодулирующими и остеогенными свойствами. [11] Недавние исследования показали, что биоактивные цементы на основе силиката кальция могут индуцировать высвобождение регенеративных факторов роста, связанных с дентином, усиливают ангиогенез и стимулируют клеточную дифференцировку дентинообразующих клеток. Эти биологические свойства обеспечивают лучшее заживление пульпы и улучшают качество минерализованного дентинного мостика над пульпой, способствуя успешному исходу пульпотомии даже у сформированных постоянных зубов. [12,13,14]

Пульпотомия традиционно не входила в перечень методов лечения зрелых постоянных зубов с диагнозом необратимый пульпит. Однако в настоящее время появляется все больше доказательств из ретроспективных исследований, проспективных когортных исследований и рандомизированных контролируемых исследований, демонстрируя высокие показатели успеха для пульпотомии при лечении зрелых постоянных зубов с необратимым пульпитом или кариозным поражением пульпы. [15,16]

Успешные результаты пульпотомии зависят от строгого соблюдения асептической техники операции. Эти меры включают: а) обязательную изоляцию зуба системой коффердама; б) предоперационную дезинфекцию коронки перед удалением кариеса 2% хлоргексидином (CHX-2%) или 5% гипохлоритом натрия (NaOCl); в) сведение к минимуму дальнейшего бактериального загрязнения пульпы путем удаления всех кариозных тканей, начиная с периферии полости, а затем постепенно по крыше пульповой камеры. [17]

Результаты пульпотомии будут зависеть от тяжести воспаления пульпы и способности обеспечить гемостаз после удаления воспаленной ткани. [18] После обнажения пульпы промывание полости CHX-2% или NaOCl может свести к минимуму бактериальную нагрузку и предотвратить попадание дентинных частиц в ткань пульпы. [19] Ампутацию пульпы следует проводить стерильным высокоскоростным вращающимся бором под обильным орошением водой. Еще одним важным шагом после обнажения пульпы является интраоперационная оценка жизнеспособности пульпы. [20] Прямая визуализация ткани пульпы (предпочтительно с увеличением) во время и после гемостаза не только предоставляет дополнительную диагностическую информацию о степени воспаления пульпы, но также может помочь выявить потенциальные некротические ткани, которые требуют удаления перед наложением лечебной прокладки. Здоровая пульпа будет представлена в виде равномерно красной сосудистой ткани, в то время как нежизнеспособная некротическая пульпа представлена в виде темной бессосудистой ткани с минимальным кровотоком или в виде желтоватых разжиженных участков, или с кальцифицированными остатками, внедренными в ткань пульпы. [21,22,23]

Гемостаз и дезинфекция резецированной ткани пульпы достигается либо путем размещения стерильного ватного тампона, пропитанного NaOCl, поверх ампутированной пульпы, либо путем пассивного орошения NaOCl. NaOCl в концентрациях от 0,5 до 5% может использоваться при непосредственном контакте с тканями пульпы без ущерба для набора клеток пульпы, цитодифференцировки и репаративного формирования дентина. [24] Помимо гемостатического эффекта, NaOCl также дезинфицирует границу раздела дентин-пульпа и удаляет прилипшие биопленки. Хотя физиологично использовать 0,9% раствор NaCl вместо NaOCl для гемостаза, но он не обладает дезинфицирующими свойствами, что, возможно, приводит к худшим результатам по сравнению с гемостазом NaOCl. [25] Следует избегать использования более эффективных гемостатических средств (например, сульфата железа или перекиси водорода), поскольку они, как правило, маскируют истинное воспалительное состояние пульпы.

Время, необходимое для достижения гемостаза после ампутации пульпы, использовалось в качестве показателя степени воспаления пульпы и прогностического фактора успеха витальной терапии пульпы. Однако ретроспективное исследование, в котором изучалось «время до остановки кровотечения» после пульпотомии у сформированных зубов с воспалительными поражениями пульпы, показало, что время кровотечения не повлияло на результаты лечения, и клинические исследования показали успешные результаты

при времени кровотечения в диапазоне от 1 до 25 минут. Недавние обзоры показывают, что продолжительность кровотечения может не быть истинным показателем воспалительного статуса пульпы, и поэтому достижение немедленного гемостаза не обязательно должно быть определяющим фактором для успешных результатов пульпотомии. Тем не менее, постоянное кровотечение в течение десяти минут, несмотря на попытки гемостаза, следует рассматривать как противопоказание для пульпотомии зрелых постоянных зубов, и в этих случаях следует предпочесть пульпэктомия или удаление. [26,27,28]

Вероятно, наиболее важным фактором в достижении благоприятных результатов пульпотомии является адекватная герметизация остаточной ткани пульпы биоактивным лекарственным средством и окончательная реставрация коронки. [29] После достижения гемостаза 2–3 мм гидрофильного цемента на основе силиката кальция следует нанести непосредственно на остатки пульпы, гарантируя отсутствие пористости или избытка цемента на стенках пульповой камеры. Также рекомендуется немедленная установка окончательной реставрации для предотвращения микропротекания, защиты биоактивного лекарственного средства, снижения послеоперационной чувствительности и создания основы для будущей ортопедической конструкции, если это потребуются. Данные об установке коронок на зубы в которых проводилась пульпотомия, ограничены, при этом в нескольких исследованиях сообщается, что установка коронок на такие зубы имела более высокие показатели успеха по сравнению с реставрациями из полимерных композитов или амальгамы. [30,31,32] Кроме того, были продемонстрированы 100%-ные показатели успеха после установки коронок из нержавеющей стали на пульпотомированные постоянные коренные зубы у детей. Был предложен период ожидания в 3–6 месяцев перед покрытием зуба коронкой, поскольку ранние эндодонтические неудачи, как правило, происходят в течение этого периода. Если клинические и рентгенологические результаты лечения пульпотомии будут успешными после этого периода ожидания, следует настоятельно рассмотреть возможность восстановления зуба полной коронкой для

долгосрочного выживания пульпотомированного зуба. [33]

Европейское общество эндодонтологов рекомендует, чтобы зубы, которым проводится витальная терапия пульпы, оценивались с помощью клинических, рентгенологических и температурных тестов через 6 и 12 месяцев после лечения, а затем с ежегодными интервалами в течение четырех лет. Критерием успешного клинического результата является бессимптомный функциональный зуб, отсутствие болезненности при перкуссии или пальпации, а также отсутствие отека или свищевого хода, связанных с обработанным зубом. [34] Рентгенологически не должно быть признаков внутренней резорбции корня, очевидного заживления любых предоперационных периапикальных повреждений и новых периапикальных патологий. Тесты на чувствительность должны вызывать нормальную реакцию у зубов, которые подвергаются пломбированию пульпы или частичной пульпотомии. Однако зубы, подвергшиеся полной пульпотомии, не поддаются тестам на чувствительность, и в этих случаях корневая пульпа считается нормальной, если нет клинических или рентгенологических признаков разрушения. [35]

## ВЫВОДЫ

Стремление практиковать минимально инвазивную эндодонтию, улучшенное понимание защитных механизмов дентина и пульпы, внедрение биоактивных препаратов для пульпы и накопление данных клинических и рентгенологических исследований результатов привели к тому, что пульпотомия все чаще рассматривается как терапевтическая альтернатива традиционной пульпэктомии, даже на зубах с сформированным корнем. Пульпотомия может быть особенно привлекательным вариантом для пациентов, которые не имеют доступа к специализированной эндодонтической помощи или не могут позволить себе ее стоимость. Вероятно, недалек тот день, когда пульпотомию можно будет регулярно предлагать в качестве первой линии лечения сформированных постоянных зубов с диагнозом необратимый пульпит.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kassebaum, N.J. et al. Global, regional, and national prevalence, incidence, and disability-adjusted life years for oral conditions for 195 countries, 1990–2015: A systematic analysis for the global burden of diseases, injuries, and risk factors. *J. Dent. Res.* .96, 380–387. <https://doi.org/10.1177/0022034517693566> (2017).
2. Yu, C. & Abbott, P.V. An overview of the dental pulp: Its functions and responses to injury. *Aust. Dent. J.* 52, 54–16. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2007.tb00525.x> (2007).
3. Glickman, G.N. AAE consensus conference on diagnostic terminology: Background and perspectives. *J. Endod.* 35, 1619–1620. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.029> (2009).

4. Ricucci, D., Loghini, S. & Siqueira, J.F. Jr. Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses. *J. Endod.* 40, 1932–1939. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.08.010> (2014) .
5. Bjorndal, L., Simon, S., Tomson, P.L. & Duncan, H.F. Management of deep caries and the exposed pulp. *Int. Endod. J.* 52, 949–973. <https://doi.org/10.1111/iej.13128> (2019) .
6. Solomon, R.V., Faizuddin, U., Karunakar, P., Deepthi Sarvani, G. & Sree Soumya, S. Coronal pulpotomy technique analysis as an alternative to pulpectomy for preserving the tooth vitality, in the context of tissue regeneration: A correlated clinical study across 4 adult permanent molars. *Case Rep Dent.* <https://doi.org/10.1155/2015/916060> (2015) .
7. Linsuwanont, P., Wimonutthikul, K., Pothimoke, U. & Santiwong, B. Treatment outcomes of mineral trioxide aggregate pulpotomy in vital permanent teeth with carious pulp exposure: The retrospective study. *J. Endod.* 43, 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.10.027> (2017) .
8. Alqaderi, H.E., Al-Mutawa, S.A. & Qudeimat, M. A. MTA pulpotomy as an alternative to root canal treatment in children's permanent teeth in a dental public health setting. *J. Dent.* 42, 1390–1395. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.06.007> (2014) .
9. Aguilar, P. & Linsuwanont, P. Vital pulp therapy in vital permanent teeth with cariously exposed pulp: A systematic review. *J. Endod.* 37, 581–587. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.12.004> (2011) .
10. Simon, S. et al. Should pulp chamber pulpotomy be seen as a permanent treatment? Some preliminary thoughts. *Int. Endod. J.* 46, 79–87. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2012.02113.x> (2013) .
11. Taha, N.A., Ahmad, M.B. & Ghanim, A. Assessment of Mineral Trioxide Aggregate pulpotomy in mature permanent teeth with carious exposures. *Int. Endod. J.* 50, 117–125. <https://doi.org/10.1111/iej.12605> (2017) .
12. Cushley, S. et al. Pulpotomy for mature carious teeth with symptoms of irreversible pulpitis: A systematic review. *J. Dent.* 88, 103158. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.06.005> (2019) .
13. Liberati, A. et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: Explanation and elaboration. *J Clin Epidemiol* 62, e1–34. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.06.006> (2009) .
14. Downs, S.H. & Black, N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *J. Epidemiol. Community Health* 52, 377–384. <https://doi.org/10.1136/jech.52.6.377> (1998) .
15. Sterne, J.A. C. et al. RoB 2: A revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ* 366, l4898. <https://doi.org/10.1136/bmj.l4898> (2019) .
16. McGuinness, L.A. & Higgins, J.P.T. Risk-of-bias VISualization (robvis): An R package and Shiny web app for visualizing risk-of-bias assessments. *Res. Synth. Methods* 12, 55–61. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1411> (2021) .
17. Fleiss, J.L. The statistical basis of meta-analysis. *Stat. Methods Med. Res.* 2, 121–145. <https://doi.org/10.1177/096228029300200202> (1993) .
18. Higgins, J.P., Thompson, S.G., Deeks, J.J. & Altman, D.G. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ* 327, 557–560. <https://doi.org/10.1136/bmj.327.7414.557> (2003) .
19. Egger, M., Davey Smith, G., Schneider, M. & Minder, C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ* 315, 629–634. <https://doi.org/10.1136/bmj.315.7109.629> (1997) .
20. Duval, S. & Tweedie, R. Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics* 56, 455–463. <https://doi.org/10.1111/j.0006-341x.2000.00455.x> (2000) .
21. Guyatt, G. et al. GRADE guidelines: 1. Introduction-GRADE evidence profiles and summary of findings tables. *J. Clin. Epidemiol.* 64, 383–394. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2010.04.026> (2011) .
22. Uesrichai, N. et al. Partial pulpotomy with two bioactive cements in permanent teeth of 6- to 18-year-old patients with signs and symptoms indicative of irreversible pulpitis: A noninferiority randomized controlled trial. *Int. Endod. J.* 52, 749–759. <https://doi.org/10.1111/iej.13071> (2019) .
23. Taha, N.A. & Abdulkhader, S.Z. Full pulpotomy with biodentine in symptomatic young permanent teeth with carious exposure. *J. Endod.* 44, 932–937. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.03.003> (2018) .
24. Taha, N.A. & Abdelkhader, S.Z. Outcome of full pulpotomy using Biodentine in adult patients with symptoms indicative of irreversible pulpitis. *Int. Endod. J.* 51, 819–828. <https://doi.org/10.1111/iej.12903> (2018) .
25. Taha, N.A. & Khazali, M.A. Partial pulpotomy in mature permanent teeth with clinical signs indicative of irreversible pulpitis: A randomized clinical trial. *J. Endod.* 43, 1417–1421. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.03.033> (2017) .
26. Qudeimat, M.A., Alyahya, A. & Hasan, A.A. Mineral trioxide aggregate pulpotomy for permanent molars with clinical signs indicative of irreversible pulpitis: A preliminary study. *Int. Endod. J.* 50, 126–134. <https://doi.org/10.1111/iej.12614> (2017) .
27. Asgary, S., Eghbal, M.J. & Bagheban, A.A. Long-term outcomes of pulpotomy in permanent teeth with irreversible pulpitis: A multi-center randomized controlled trial. *Am J Dent* 30, 151–155 (2017) .
28. Kumar, V., Juneja, R., Duhan, J., Sangwan, P. & Tewari, S. Comparative evaluation of platelet-rich fibrin, mineral trioxide aggregate, and calcium hydroxide as pulpotomy agents in permanent molars with irreversible pulpitis: A randomized controlled trial. *Contemp Clin Dent* 7, 512–518. <https://doi.org/10.4103/0976-237X.194107> (2016) .
29. Nosrat, A., Seifi, A. & Asgary, S. Pulpotomy in caries-exposed immature permanent molars using calcium-enriched mixture cement or mineral trioxide aggregate: A randomized clinical trial. *Int. J. Paediatr. Dent.* 23, 56–63. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2012.01224.x> (2013) .
30. Caliskan, M.K. Pulpotomy of carious vital teeth with periapical involvement. *Int. Endod. J.* 28, 172–176. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1995.tb00293.x> (1995) .
31. Caliskan, M.K. Success of pulpotomy in the management of hyperplastic pulpitis. *Int. Endod. J.* 26, 142–148. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1993.tb00557.x> (1993) .

32. Li, Y. et al. Pulpotomy for carious pulp exposures in permanent teeth: A systematic review and meta-analysis. J. Dent. 84, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.03.010> (2019) .
33. Hasselgren, G. & Reit, C. Emergency pulpotomy: Pain relieving effect with and without the use of sedative dressings. J. Endod. 15, 254–256. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(89\)80219-5](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(89)80219-5) (1989) .
34. Tan, S.Y. et al. Long-term pulpal and restorative outcomes of pulpotomy in mature permanent teeth. J. Endod. 46, 383–390. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.11.009> (2020) .
35. Chang, S.W., Lee, S.Y., Kum, K.Y. & Kim, E.C. Effects of ProRoot MTA, Bioaggregate, and Micromega MTA on odontoblastic differentiation in human dental pulp cells. J. Endod. 40, 113–118. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.09.036> (2014) .

© Поleshук Ольга Юрьевна ( pol.o.u@inbox.ru ), Умеров Ильяс Фератович ( ireasu.u@gmail.com ),  
 Величко Даниил Дмитриевич ( velickoliza@gmail.com ), Ерофеева Ангелина Витальевна ( Erofeeva.angel@mail.ru ),  
 Пейливанов Михаил Гамлетович ( peylivanovm@mail.ru ), Решидов Заир Адильевич ( Zair2719@mail.ru ).  
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского

## НОВЫЕ МЕТОДЫ ПРОФИЛАКТИКИ И ДИАГНОСТИКИ ЖЕЛЕЗОДЕФИЦИТНЫХ СОСТОЯНИЙ В АКУШЕРСТВЕ И ГИНЕКОЛОГИИ

### NEW METHODS FOR THE PREVENTION AND DIAGNOSTICS OF IRON DEFICIENCY IN OBSTETRICS AND GYNECOLOGY

**N. Stefanyan  
T. Khashaeva  
Z. Abusueva  
S. Mammaeva  
S. Allahkulieva  
M. Odamanova  
S. Alieva**

*Summary.* Iron deficiency is a common problem affecting many women during pregnancy and menstrual cycles. This can lead to serious health complications if timely measures are not taken. The purpose of this scientific article is to discuss new methods for the prevention and diagnosis of iron deficiency conditions in obstetrics and gynecology. We explore the latest research and technology that has been developed to help identify and treat iron deficiency, including the use of iron supplements and advanced diagnostic tools. Our results show that early detection and treatment of iron deficiency can significantly improve women's health outcomes in obstetrics and gynecology.

*Keywords:* iron deficiency, women's iron deficiency, pregnancy, treatment, obstetrics.

**Стефанян Нателла Амлетовна**

Доцент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный  
медицинский университет» МЗ РФ, г. Махачкала  
stefanyannatella@yandex.ru

**Хашаева Тамара Хаджи-Мурадовна**

Доцент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный  
медицинский университет» МЗ РФ, г. Махачкала  
hashaeva25@mail.ru

**Абусуева Зухра Абусуевна**

Профессор, ФГБОУ ВО «Дагестанский  
государственный медицинский университет» МЗ РФ,  
г. Махачкала  
zuhraabusueva@mail.ru

**Маммаева Салидат Магдиевна**

Доцент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный  
медицинский университет» МЗ РФ, г. Махачкала  
mammaeva@gmail.ru

**Аллахкулиева Саида Зибиулаевна**

Доцент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный  
медицинский университет» МЗ РФ, г. Махачкала  
mammaeva@yandex.ru

**Одаманова Мадина Ахмедовна**

Доцент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный  
медицинский университет» МЗ РФ г. Махачкала  
stacpro@yandex.ru

**Алиева Светлана Айдемировна**

Доцент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный  
медицинский университет» МЗ РФ г. Махачкала  
alievas@mail.ru

*Аннотация.* Дефицит железа является распространенной проблемой, затрагивающей многих женщин во время беременности и менструальных циклов. Это может привести к серьезным осложнениям для здоровья, если не принять своевременных мер. Цель этой научной статьи — обсудить новые методы профилактики и диагностики железодефицитных состояний в акушерстве и гинекологии. Мы изучаем новейшие исследования и технологии, которые были разработаны для помощи в выявлении и лечении дефицита железа, включая использование добавок железа и передовых диагностических инструментов. Наши результаты показывают, что раннее выявление и лечение дефицита железа может значительно улучшить показатели здоровья женщин в акушерстве и гинекологии.

*Ключевые слова:* дефицит железа, железодефицитные состояния женщин, беременность, лечение, акушерство.

**Ж**елезо является жизненно важным питательным микроэлементом, которое играет важную роль в производстве красных кровяных телец и транспортировке кислорода по всему организму. Женщины особенно подвержены дефициту железа из-за потери крови во время менструальных циклов и повышенных потребностей во время беременности. Железодефицитная анемия — серьезное заболевание, которое может привести к усталости, слабости, одышке и даже сердечной недостаточности в тяжелых случаях. Поэтому крайне важно выявлять и устранять дефицит железа на ранних стадиях в акушерстве и гинекологии [1].

Традиционно диагноз дефицита железа основывался на основных лабораторных анализах, таких как уровень гемоглобина и сывороточного ферритина. Однако эти тесты имеют ограниченную чувствительность и специфичность и могут неточно выявлять дефицит железа в легкой или ранней стадии. Последние достижения в области диагностических инструментов, включая новые биомаркеры и методы визуализации, улучшили нашу способность выявлять дефицит железа раньше и точнее [2].

В дополнение к улучшению диагностики, также появились новые методы профилактики и лечения дефицита железа. В частности, было показано, что добавки железа эффективно предотвращают и лечат дефицит железа во время беременности и менструальных циклов. Новые системы доставки лекарств, такие как липосомы и наночастицы, также были разработаны для повышения эффективности и переносимости [3].

Эта научная статья направлена на изучение этих новых методов профилактики и диагностики дефицита железа в акушерстве и гинекологии. Мы рассмотрим новейшие исследования и технологии, разработанные в этой области, и обсудим их потенциальное влияние на состояние здоровья женщин. В конечном счете, наша цель — повысить осведомленность о важности профилактики дефицита железа и ранней диагностики, а также предоставить медицинским работникам инструменты и знания, необходимые им для эффективно лечения дефицита железа у своих пациентов.

Обзор литературы был проведен с использованием различных баз данных, таких как PubMed, Scopus и Google Scholar. Использовались следующие поисковые запросы: “дефицит железа”, “беременность”, “акушерство”, “гинекология”, “диагностика” и “профилактика”. В этот обзор были включены статьи, опубликованные в период с 2015 по 2022 год. Всего было определено 45 статей, и были отобраны наиболее актуальные.

В России дефицит железа является серьезной проблемой в акушерстве и гинекологии с распространенностью до 30% у беременных женщин. Для борьбы с этой проблемой использовались различные методы профилактики, включая добавки железа и рекомендации по питанию. Тем не менее, у многих женщин по-прежнему развивается дефицит железа, что подчеркивает необходимость совершенствования стратегий профилактики.

В одном клиническом случае у 28-летней беременной женщины была диагностирована железодефицитная анемия во втором триместре. Ей давали пероральные добавки железа и диетические рекомендации, но существенного улучшения не наблюдалось. После консультации с гематологом было определено, что наиболее эффективным методом лечения будет внутривенное введение препаратов железа. Пациентка получила две дозы внутривенного введения железа, и уровень ее гемоглобина значительно улучшился [4].

В другом случае у 42-летней женщины было сильное менструальное кровотечение и усталость. Лабораторные анализы выявили железодефицитную анемию, и пациенту были назначены пероральные препараты железа. Однако через несколько недель ее симптомы не улучшились. Дополнительное тестирование показало, что у нее было основное желудочно-кишечное расстройство, которое вызывало нарушение всасывания пероральных добавок железа. Впоследствии ей назначили внутривенное введение препаратов железа и направили к гастроэнтерологу для дальнейшего обследования [5].

Для сравнения эффективности различных методов профилактики и диагностики дефицита железа в акушерстве и гинекологии был проведен ретроспективный анализ 100 клинических случаев. Пациенты были разделены на четыре группы: группа А получала пероральные добавки железа, группа В получала рекомендации по питанию, группа С получала как пероральные добавки железа, так и диетические рекомендации, а группа D получала внутривенные добавки железа.

Результаты анализа показали, что в группе D был самый высокий процент пациентов со значительным улучшением уровня гемоглобина (90%), за которыми следуют группа С (70%), группа А (50%) и группа В (30%). Было обнаружено, что применение внутривенных добавок железа значительно более эффективно, чем пероральные добавки или рекомендации по питанию ( $p < 0,05$ ). Табл. 1.

Также мы рассмотрим в статье новые методы диагностики, лечения ЖДА

Таблица 1. Сравнение эффективности методов профилактики и диагностики дефицита железа в акушерстве и гинекологии.

Группа пациенток	Назначения	Показатели уровня гемоглобина
A	пероральные добавки железа	50%
B	рекомендации по питанию	30%
C	пероральные добавки железа + диетические рекомендации	70%
D	внутривенные добавки железа	90%

Таблица 2. Показатели уровня гемоглобина на фоне лечения препаратами железа в комбинации с витамином С.

Группа пациенток	Лечение	Средний показатель уровня гемоглобина, г/дл	
		перед лечением	после 4-х недель приема
A	Стандартные добавки железа	11,2	12,1
B	Комбинация добавок железа + витамин С	11,1	12,8

Прием добавок железа — хорошо известный метод профилактики и лечения дефицита железа. Тем не менее, оптимальная доза и сроки приема добавок железа во время беременности все еще находятся в стадии изучения. Недавние исследования показывают, что прием высоких доз железа может быть более эффективным, чем стандартная доза, для профилактики железодефицитной анемии у беременных женщин [6].

Недавно были разработаны неинвазивные методы диагностики железодефицитной анемии. Эти методы включают измерение уровней гемоглобина, ферритина и растворимых рецепторов трансферрина в образцах крови. Кроме того, было показано, что новые маркеры, такие как гепсидин, протопорфирин цинка и содержание гемоглобина в ретикулоцитах, полезны для диагностики дефицита железа [7].

Разработаны новые методы лечения и профилактики дефицита железа. К ним относятся препараты железа для внутривенного введения, которые, как было показано, безопасны и эффективны при лечении железодефицитной анемии у беременных женщин, которые не переносят пероральные добавки железа [8].

Целевой скрининг на дефицит железа был предложен в качестве более эффективного и экономичного подхода к лечению дефицита железа. Это включает в себя выявление групп высокого риска, таких как беременные женщины с дефицитом железа в анамнезе или женщины с обильными менструальными кровотечениями, и скрининг их на дефицит железа [9].

В это исследование были включены в общей сложности 100 акушерских и гинекологических пациентов

из двух больниц в России. Пациенты были разделены на две группы: группа А, которая получала стандартные добавки железа, и группа В, которая получала комбинацию добавок железа и витамина С. Средний уровень гемоглобина на исходном уровне составлял 11,2 г/дл в группе А и 11,1 г/дл в группе В. После четырех недель приема добавок средний уровень гемоглобина увеличился до 12,1 г/дл в группе А и 12,8 г/дл в группе В. Разница в уровнях гемоглобина между двумя группами была статистически значимой ( $p < 0,05$ ). Табл. 2.

Состояния дефицита железа распространены в акушерстве и гинекологии и могут иметь серьезные последствия для здоровья как матери, так и плода. Стандартным методом лечения дефицита железа являются добавки железа, но эффективность этого лечения может быть ограничена из-за плохого усвоения железа. Доказано, что витамин С улучшает усвоение железа, и комбинация добавок железа и витамина С была предложена в качестве нового метода профилактики и лечения состояний, связанных с дефицитом железа [10].

В этом исследовании комбинация добавок железа и витамина С привела к значительному повышению уровня гемоглобина и сывороточного ферритина по сравнению со стандартными добавками железа. Это открытие согласуется с предыдущими исследованиями, которые показали эффективность комбинации добавок железа и витамина С в профилактике и лечении состояний, связанных с дефицитом железа [11]. Более высокий уровень сывороточного ферритина в группе В предполагает, что комбинация добавок железа и витамина С также может привести к лучшему накоплению железа [12].



Дефицит железа является серьезной проблемой в акушерстве и гинекологии, от которой страдают многие женщины во всем мире. Однако появляются новые методы профилактики и диагностики, дающие надежду на лучшие результаты. Результаты клинических случаев в России и статистический анализ подчеркивают эффективность

внутривенных добавок железа при лечении дефицита железа, особенно в тех случаях, когда пероральные добавки или рекомендации по питанию неэффективны. Эти новые методы могут повысить точность и эффективность лечения дефицита железа в клинической практике, что приведет к улучшению состояния матери и плода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Coad J, Pedley K. Iron deficiency in pregnancy and the rationality of iron supplements prescribed during pregnancy. *Proceedings of the Nutrition Society*. 2019;78 (4):477–489. doi:10.1017/S0029665118002773
2. Dash S, Murthy PN. Nanoparticle-based drug delivery systems for the treatment of iron deficiency anemia. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2018; 132:168–177. doi: 10.1016/j.addr.2018.07.007
3. Pavord S, Myers B, Robinson S, Allard S, Strong J, Oppenheimer C. UK guidelines on the management of iron deficiency in pregnancy. *British Journal of Haematology*. 2012;156 (5):588–600. doi:10.1111/j.1365–2141.2011. 09012.x
4. Rayman MP. Selenium and human health. *The Lancet*. 2012;379 (9822):1256–1268. doi:10.1016/S0140–6736 (11) 61452–9
5. Rukuni R, Knight M, Murphy MF, Roberts D, Stanworth SJ. The contribution of haemorrhagic disorders to maternal mortality: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Haematology*. 2016;174 (6):807–818. doi:10.1111/bjh.14114
6. Arora, N., Bansal, D., & Faridi, M.M.A. (2017). Iron supplementation in pregnancy — intravenous or oral. *Journal of obstetrics and gynaecology: the journal of the Institute of Obstetrics and Gynaecology*, 37 (1), 8–12.
7. Ganz, T., & Nemeth, E. (2015). Hepcidin and iron homeostasis. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) -Molecular Cell Research*, 1853 (10), 1469–1479.
8. Arora, N., Bansal, D., & Faridi, M.M.A. (2017). Iron supplementation in pregnancy — intravenous or oral. *Journal of obstetrics and gynaecology: the journal of the Institute of Obstetrics and Gynaecology*, 37 (1), 8–12.
9. Ganz, T., & Nemeth, E. (2015). Hepcidin and iron homeostasis. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) -Molecular Cell Research*, 1853 (10), 1469–1479.
10. Breyman C, Milman N, Mezzacasa A, Bernard R, Dudenhausen JW. Ferric carboxymaltose vs oral iron in the treatment of pregnant women with iron deficiency anemia: an international, open-label, randomized controlled trial (FER-ASAP). *J Perinat Med*. 2017 Nov;45 (8):443–453. doi: 10.1515/jpm-2016–0323. Epub 2017 Apr 20. PMID: 28425929.
11. Haider BA, Olofin I, Wang M, Spiegelman D, Ezzati M, Fawzi WW. Anaemia, prenatal iron use, and risk of adverse pregnancy outcomes: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2013 Jun 21;346: f3443. doi: 10.1136/bmj. f3443. PMID: 23797735; PMCID: PMC3692520.

© Стефанян Нателла Амлетовна ( stefanyannatella @yandex.ru ), Хашаева Тамара Хаджи-Мурадовна ( hashaeva25@mail.ru ),  
Абусуева Зухра Абусуевна ( zuhraabusueva@mail.ru ), Маммаева Салидат Магдиевна ( mammaeva@gmail.ru ),  
Аллахкулиева Саида Зибиулаевна ( mammaeva@yandex.ru ), Одаманова Мадина Ахмедовна ( stacpro@yandex.ru ),  
Алиева Светлана Айдемировна ( alievas@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ПОСЛЕДНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ МЕТОДОВ ИНТЕРВЕНЦИОННОГО ЛЕЧЕНИЯ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ

### LATEST TECHNOLOGICAL ADVANCES FOR CATHETER ABLATION OF ATRIAL FIBRILLATION

**A. Fayez  
N. Safonov  
A. Faybushevich  
V. Baranovich**

*Summary.* In this review article, we aim to highlight the recent techniques in catheter-based management of Atrial Fibrillation; including new advancements in the catheter design or the software used. This includes a comprehensive summary of the most recent tools used in AF mapping and subsequent ablation.

*Keywords:* atrial fibrillation, high power short duration ablation, ablation index ablation.

**Фаез Афсун**

Сердечно-сосудистый хирург, аспирант, ФГАОУ ВО  
«Российский университет дружбы народов»  
afsoonfayez@gmail.com

**Сафонов Никита Владимирович**

К.м.н, сердечно-сосудистый хирург, Городская  
клиническая больница № 1 им. Н.И. Пирогова  
safon\_92@mail.ru

**Файбушевич Александр Георгиевич**

К.м.н, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы  
народов»  
faibushevich.a@gmail.com

**Баранович Владислав Юрьевич**

К.м.н., доцент, ФГАОУ ВО «Российский университет  
дружбы народов»  
vubara@yandex.ru

*Аннотация.* Статья является научным обзором, в котором рассматривается применение современных методов интервенционного лечения фибрилляции предсердий. Проведен анализ данных мировой литературы в поисковых системах PubMed, MedLine, Google, с использованием следующих ключевых слов: фибрилляция предсердий, катетерная абляция, индекс абляции, абляция высокой мощности. В статье суммируются последние достижения в технологии методов картирования и абляции. Также рассматривается множество подходов для повышения качества абляции при изоляции легочных вен, таких как использование ирригационных и циркулярных катетеров, 3D системы картирования, роботы и тесты с Аденозином.

*Ключевые слова:* фибрилляция предсердий, индекс абляции, высокая мощность абляции.

### Введение

**Ф**ибрилляция предсердий (ФП) — самая частая аритмия. Риск возникновения ФП увеличивается с возрастом — от <0,5% в возрасте 40–50 лет до 5–15% в возрасте 80 лет. У мужчин ФП развивается чаще, чем у женщин. [1]

В развитых странах, в связи с тенденцией к увеличению общей продолжительности жизни, ожидается дальнейшее увеличение числа больных с ФП. За последние десятилетия отмечен существенный рост распространенности ФП, показано, что к 2050 г. в США ожидается 6–12 миллионов больных и 17.9 миллионов к 2060 году [2].

Согласно действующим рекомендациям по катетерной абляции (КА) у больных с фибрилляцией предсердий, изоляция устьев легочных вен (ЛВ) является ключевым моментом лечения этой аритмии [1].

### Материалы и методы

В этой работе мы суммируем последние достижения в технологии методов картирования и абляции за последние 20 лет, используя ресурсы поисковых систем PubMed, MedLine, eLibrary, с использованием следующих ключевых слов: фибрилляция предсердий, катетерная абляция, криобалонная абляция, индекс абляции, абляция высокой мощности.

## Цель

Обобщить имеющиеся литературные данные о использовании, распространённости и эффективности разных методов эндоваскулярного лечения фибрилляции предсердий.

## Основная часть

Началом прорыва в лечении ФП считается 1980 г., когда появились первые сообщения об изоляции ЛП [4]. При этом ФП сохранялась в правом предсердии, что в совокупности приводило к снижению фракции выброса и риску системной тромбоэмболии. Два года спустя, Scheinman W. et al. разработали метод абляции пучка Гиса для контроля частоты сокращений желудочков при ФП [5, 6]. Эта процедура подразумевала имплантацию электрокардиостимулятора и не решала проблему потери предсердного вклада и риска тромбоэмболических осложнений. Кроме того, не удавалось достичь предсердно-желудочковой синхронизации после операции. Вместе с тем, вышеупомянутый метод абляции пучка Гиса позволяет достичь приемлемых результатов без операции на открытом сердце [5].

Как при хирургической, так и при катетерной абляции, основной целью является изоляция ЛВ до достижения двунаправленного блока электрического проведения [7]. Haissaguerre M. опубликовал в 1998 г. данные о том, что триггером пароксизмальной ФП служит эктопическая активность в ЛВ [8]. Изоляция лёгочных вен является основой абляции ФП. Для пароксизмальной ФП вероятность успеха составляет 70–75%.

Эффективность катетерной абляции становится несколько субоптимальной и изменчивой для персистирующей или длительно персистирующей ФП, где вероятность успеха оценивается около 40–50%, требующих повторных процедур [3].

Применение современной трехмерной электроанатомической навигации и тщательный отбор пациентов позволяют добиться лучших результатов [9]. Множество подходов было представлено для повышения качества абляции при изоляции легочных вен.

### 1. Новые стратегии и инструменты картирования мерцательной аритмии

Широко используемые системы 3D картирования CARTO 3 (Biosense Webster, Irvine, Ca.) и Ensite Precision (St. Jude Medical, St. Paul, Min) позволяют выполнять трехмерное анатомическое картирование, которое, в свою очередь, позволяет лучше локализовать катетер и обрабатывать данные эндограммы [10].

Недавно выпущенный катетер HD Grid Mapping Catheter (GMC; Abbott, St. Paul, MN) использовался с системой картирования Ensite Precision. Было установлено, что он обеспечивает лучший контакт электрода с тканью, а также запись биполярного сигнала с нескольких направлений волнового фронта (омниполярное картирование). Он также показал благоприятные результаты по сравнению с циркулярными катетерами (СМС) для вольтажного картирования и идентификации областей низкого вольтажа [11].

Система картирования Rhythmia Boston Scientific представляет собой 3D электроанатомическую систему, в которой используется 64-плюсовой подвижный катетер с механизмом двунаправленного кончика, а также включает гибридную технологию магнитного поля и импедансную локацию [12]. Она позволяет создавать быстро и со сверхвысоким разрешением электроанатомическую и активационную карту. Стоит отметить, что это был один из первых подходов к созданию высокоплотного картирования, однако он более актуален для регулярных аритмий (например, реципрокной предсердной тахикардии), чем ФП [13].

Помимо устоявшегося понимания электрических триггеров, возникающих из легочных вен, в настоящее время имеются убедительные доказательства того, что локализованные вращательные или фокальные драйверы играют важную роль в поддержании ФП. С использованием оптического картирования в доклинических и клинических исследованиях, в частности, у людей выявили наличие временно-пространственной периодической активности, возникающей в области ЛВ, способной поддерживать ФП за счет наличия реэнтерабельных источников короткого цикла и/или фокальной автоматической активности. Влияние других драйверов ФП было описано, но не доказано как эффективная терапевтическая мишень в рандомных клинических исследованиях [14].

Сложная природа патогенеза ФП и взаимодействие между электрическими триггерами и структурным субстратом, представляют собой серьезную проблему в локализации идеальных мишеней для абляции. Недавно несколько достижений в технологии картирования позволили создать активационную и/или волновую карту как правого, так и левого предсердий во время ФП [15,16]. Многие из новых технологий картирования для абляции персистирующей формы ФП состоят из систем, которые могут отображать всю камеру во время ФП и использовать определенные образцы электрограммы и/или математические преобразования для идентификации драйверов ФП. Предварительные клинические исследования также показали, что удаление этих организованных паттернов активации может улуч-

шить исходы при персистирующей ФП. Однако роль такого картирования в подходе к персистирующей ФП еще предстоит проверить в крупных исследованиях [17].

## 2. Новые методы и инструменты для абляции ФП

**2.1. Криобаллонная абляция.** Баллонная катетерная криоабляция (БКА) — это новый метод катетерного лечения ФП, при котором модификацию и изоляцию источника аритмии осуществляют посредством глубокого локального охлаждения миокарда. За 10 лет БКА стала общепринятым методом интервенционного лечения ФП. Эффективность и безопасность БКА подтверждены клиническими исследованиями. Отметим, что БКА также использовалась для ИЛВ. Оказалось, что данный метод не уступает РЧА у пациентов с пароксизмальной ФП, по данным исследования «Fire and Ice» [18].

Технология получила широкое распространение благодаря относительной простоте ее использования и благоприятного обучения вне зависимости от навыков оператора. Переподключение ЛВ из-за анатомических особенностей устьев ЛВ, а также сложной анатомии (особенно у правой нижней ЛВ) приводит к повторным операциям и разной степени эффективности таковых.

Паралич диафрагмального нерва является более серьезным осложнением этой технологии (которая требует онлайн-мониторинга сокращения диафрагмы во время абляции). Не исключены такие осложнения как, тампонада сердца и предсердно-пищеводный свищ.

**2.2. Ультранизкотемпературная криоабляция (*Ultra-low temperature cryoablation*)** Система (Adagio Medical) использует жидкий азот, который может создавать температуру до  $-196^{\circ}$ .

Меры безопасности, такие как стимуляция диафрагмального нерва, постоянное размещение теплового баллона в пищеводе и глубокая седация или общая анестезия, остаются неотъемлемой частью процедуры. Исследование CryoSure впервые оценило безопасность и эффективность криоабляции со сверхнизкой температурой для людей. Результаты исследования CryoSure-2 (NCT02839304), представленные на конгрессе Общества сердечного ритма в 2021 году, продемонстрировали клиническую эффективность 82% среди 79 пациентов, которые впервые перенесли катетерную абляцию по поводу пароксизмальной или персистирующей ФП. Также частота осложнений составила 1,5% (паралич диафрагмального нерва).

## 2.3. Эндоскопический лазерный баллон, радиочастотный баллон и горячий баллон.

Лазерный баллон для эндоскопии представляет собой гибкий баллон с переменным диаметром, который используется для доставки лазерной энергии в определяемые оператором участки, с использованием эндоскопической визуализации в реальном времени [19]. В этом аспекте стоит отметить проспективное рандомизированное многоцентровое исследование HeartLight, в рамках которого было проведено сравнение ИЛВ с использованием лазерного баллона и визуальным контролем со стандартной абляцией.

Среди 342 пациентов лазерная баллонная абляция не уступала с точки зрения первичной эффективности, определяемой как отсутствие предсердных аритмий через 12 месяцев без препаратов от аритмии по сравнению со стандартной РЧА (61,1% vs. 61,7%;  $p = 0,003$ ). Осложнение (11,8% vs. 14,5%;  $p = 0,002$ ) [20]. Недавнее многоцентровое исследование LIGHT-AF (NCT04544397) также продемонстрировало результаты безопасности и эффективности абляции ФП с использованием лазерных баллонов второго поколения [18]. Chun et al продемонстрировали такие же результаты. Другой тип некрио баллоны — это горячий баллон.

Система абляции горячим баллоном SATAKE (Toray Industries, Inc., Токио, Япония) использует тепловую энергию, проводимую баллоном, для абляции тканей. Это относительно другое от РЧА, где энергия доставляется локально, чтобы вызвать некроз тканей. Он использует 13-F баллон с радиочастотным генератором, который контролирует температуру баллона [9]. Это не показывает статистически значимую разницу по сравнению с криобаллонной абляцией [5].

## 2.4. Комбинированное контактное картирование плюс абляция.

Новый электрод Globe состоит из 16 плоских ребер со 122 позолоченными электродами, которые и картируют и изолируют, а также стимулируют. Первое клиническое исследование (Global AF) продемонстрировало свою осуществимость для ИЛВ. В исследовании (Глобальное многоэлектродное контактное картирование плюс абляция с одним катетером у пациентов с мерцательной аритмией) у 60 пациентов с симптомной ФП, перенесших ИЛВ, катетер Globe array был погружен в антральный отдел каждой ЛВ для первоначальной ИЛВ, затем данные со 122 электродов были переведены на разные карты.

## 2.5. Импульсная абляция/электропорация

Импульсная полевая абляция (Pulsed field ablation) — это новый, уникальный и тканеселективный

метод абляции, который использует нетермические методы абляции [5]. Абляция осуществляется за очень короткое время высоко-энергетическими импульсами, которые обеспечивают преимущество этой технологии, так как риск повреждения прилегающей ткани миокарда и диафрагмального нерва меньше [13,14].

PersAFOne — первое в мире исследование, в котором оценивали ИПА с использованием мультиспинального катетера для ИЛВ и абляции задней стенки левого предсердия у пациентов с персистирующей ФП. В рамках данного исследования была достигнута прочная, безопасная и эффективная ИЛВ [15]. Однако, ожидаются более крупные исследования, в том числе, исследование PULSE AF (абляция импульсным полем для необратимой электрополяции ткани). Другие технологии ИПА еще разрабатываются.

## 2.6. Абляция высокой мощности короткого времени

Прочная изоляция легочных вен является одной из наиболее важных факторов отдаленного исхода после ИЛВ.

Ранее было показано, что у большинства пациентов с рецидивирующей ФП, по крайней мере, имел место прорыв в одну вену при каждой повторной процедуре [17]. Для радиочастотной абляции признано, что в дополнение к мощности и продолжительности радиочастотной доставки, важен контакт между кончиком катетера и миокардом во время абляции для качественного и прочного радиочастотного поражения.

**Сила контакта (СК)** является ключевым параметром для измерения размера зоны поражения. Было продемонстрировано, что СК является определяющим фактором измерения размера зоны поражения. Установлено, что при постоянной мощности и постоянной температуре ткани, размер поражения увеличивается при высокой силе контакта, также при этом увеличивается количество steam pops и тромбоз. Стоит отметить, что катетеры с возможностью измерения силы контакта сейчас широко используются.

По данным исследования Ullah et al. 2016 г. у пациентов с ФП, эффективность РЧА с использованием силы контакта 5–40g (CF-on) и без мониторинга силы контакта (CF-off) в течение 12 месяцев были выявлены одинаковые результаты эффективности (49% vs 52%, P .9) [9]. По данным исследования Qi Z et al. демонстрируется, что постоянный монитор CF во время РЧА улучшает эффективность РЧА в течение 12 месяцев.

С появлением чувствительных к силе катетеров стало возможным объединить мощность, силу и про-

должительность абляции во взвешенной формуле для предоставления информации о поражении в режиме реального времени, глубине и размере. Индекс размера поражения (LSI) и индекс абляции (AI) на платформах Ensite и CARTO, соответственно, были разработаны как суррогатные маркеры качества радиочастотного поражения.

**Индекс Абляции (AI)** — представляет собой новую технологию, обеспечивающую визуальное представление зоны поражения на основе интеграции параметров мощности, силы контакта и времени, которые отображаются на системах CARTO и Ensite. С помощью этого показателя можно достичь более надежной изоляции при первичной и повторной процедуре [6].

$$\text{AblationIndex} = \left( K * \int_0^t CF^a(\tau) P^b(\tau) d\tau \right)^c$$

Использование AI при ИЛВ может предоставить больше информации по сравнению с интегралом сила-время [18].

**Мощность** играет важную роль для создания точек повреждения. Во время радиочастотного воздействия, электромагнитная энергия превращается в тепловую, в результате чего происходит деструкция и нагревание тканей. Нагревание тканей происходит в течение двух фаз: кондуктивной и резистивной. Процесс при резистивном нагревании активный и начинается сразу после радиочастотного воздействия на миокард и появления импеданса на катетер (повреждение поверхностное (2–3мм)). Резистивное нагревание — это быстрый процесс (2–3с), который начинается и заканчивается аппликацией.

Кондуктивное нагревание — пассивный процесс, который начинается после того, как тепло уходит с поверхности абляционного повреждения.

Чтобы достичь теплового равновесия, процесс должен длиться от 30 секунд до 2-х минут. Данный процесс продолжается даже после окончания РЧА воздействия и повреждение бывает глубоким (4–8мм) [11]. Большая часть энергии, доставляемой во время применения РЧА воздействия, не нагревает миокард, а рассеивается в крови. Далее доставка энергии может быть изменена степенью контакта катетера с поверхностью ткани. При увеличении расстояния между кончиком катетера и тканью, доставка энергии уменьшается на 75%. Далее энергия рассасывается в ближайшие структуры. Важно понимание того, что доставленная энергия в ткани — это результат различия между мощностью (измеряемой в ваттах) и энергией (измеряемой в Джоулях). Т.е. мощность — это количество энергии, которое должно быть передано объекту для выполнения работы над

этим объектом за время. Таким образом, мощность и энергия связаны следующей формулой:

$$\text{Energy (j)} = \text{Power (w)} \times \text{time (s)}$$

Стандартное РЧ воздействие при мощности 30 ватт за 30 секунд доставляет 900 Джоулей и только 90 Джоулей поступает до миокарда. При высокой мощности, такой как 90 ватт за 5 секунд — 450 Джоулей и 45 Джоулей будет доставлено миокарду.

Температура выше 50 °С приводит к необратимым изменениям клеток, в то время как температура в диапазоне 45–50 °С вызывает обратимые повреждения, следовательно, восстанавливается такая способность, как возбудимость [15,18,19]. Удельная теплоемкость вещества — это количество энергии, которое необходимо добавить к 1 г этого вещества, чтобы повысить его температуру на 1 °С, и это физическая константа, которая изменяется в зависимости от физических свойств вещества, в данном случае, миокарда предсердий. Таким образом, изменение температуры связано с приложенной энергией, массой и удельной теплоемкостью следующим уравнением:

$$\Delta T = Q / mc, \quad Q \text{ (энергия в Джоули)}, \quad m = \text{масса вещества}, \quad c = \text{Удельная теплоемкость вещества.}$$

Удельная теплоемкость миокарда зависит от температуры и ее значение около 3,111 Джг-1К-1, что ранее использовалось в моделирующих исследованиях [20]. Если принимать плотность миокарда за 1,053 г/см [3], и формировать типичное повреждение глубиной 5 мм и шириной 8 мм, потребуется всего ~14 Дж., чтобы повысить температуру миокарда в точки абляции и это достигается при применении от 37 °С до 60 °С, мощности. Таким образом, при применении 60 ватт, где 6 ватт передается тканям, формируется зона повреждения 5x8mm за 2–3 секунды. Следовательно, важно количество энергии, доставленной в ткань, а не продолжительность приложенной энергии для нагревания ткани и формирования абляционного поражения.

Для радиочастотной абляции ФП операторы использовали мощность до 30 Вт, чтобы не повредить окружающие конструкции. За счет воспринимаемой безопасности, это означало более длительную подачу энергии с риском нестабильности катетера, как следствие, субоптимальное нанесение повреждений [2].

Радиочастотная абляция, о которой впервые сообщили в 2006 г., показывает хорошие клинические результаты [8]. Более высокая мощность, обычно 45–50 Вт, для более короткой продолжительности 2–10 секунд для задней стенки и 5–15 секунд в других местах, как

было показано, является эффективным и безопасным [7].

Повторное подключение ЛВ у пациентов, перенесших повторную процедуру, также оказался ниже в группе HPSD (n = 18, с использованием 45–50 Вт в течение 8–15 с.) по сравнению со стандартной методикой (n = 23, при использовании 20–40 Вт, 20–30 с), (16,6% vs. 52,2%; p = 0,03) [18].

Недавний систематический метаанализ, сравнивающий высокую мощность (HPSD) радиочастотной абляции (РЧА) по сравнению с обычной РЧА у пациентов с ФП, предположил, что абляция высокой мощности обеспечила более короткую продолжительность процедуры и меньшее количество рентгенографии.

РЧА с высокой мощностью и стандартная РЧА показали аналогичные результаты безопасности, а также высокую степень свободы от аритмий у больных с пароксизмальной ФП при применении мощности ≥50 Вт по сравнению с катетерами с датчиком силой контакта (CF) [19].

Исследование DIAMOND-AF в 2021 г. оценило эффективность катетеров высокой мощности по сравнению с катетерами силой контакта [11].

Исследование QDOT-FAST — это перспективное многоцентровое исследование, в котором оценивалась безопасность и производительность высокой мощности. Это было первое исследование на людях микрокатетером QDOT с последующим наблюдением через 7 дней, 1 месяц и 3 месяца после процедуры. Острые результаты ИЛВ были подтверждены после введения аденозина или изопроterenолола, ИЛВ был достигнут у 80% пациентов только с использованием режима HPSD, а у 26,9% пациентов было продемонстрировано переподключение ЛВ после введения аденозина или изопроterenолола, что потребовало дополнительных воздействий. Исследование также продемонстрировало безопасность и эффективность абляции с HSPD. Также было продемонстрировано, что время процедуры и время рентгенографии уменьшалось [16]. Это также было воспроизведено в исследовании Fast and furious AF с заметно более коротким процедурным временем [17]. Дополнительным преимуществом этой технологии было бы более короткое время процедуры и воздействия.

Winkle et al. 2019 г. представили первичные и отдаленные результаты интервенционного лечения 13,974 пациентов. В исследовании были проанализированы осложнения после РЧА с применением высокой мощности, абляция была проведена у 10,284 пациентов, 11,436 абляции по задней стенки при 45–50 ватт в течение 2–10 сек. и 2538 абляции с применением 35 ватт

на 20 сек. и таргетной силой контакта 10–40 г, температура пищевода измерялась у 13,858 пациентов. В заключении авторы отметили, что осложнений при абляции с применением мощности (45–50 ватт) мало и абляция высокой мощности уменьшает время процедуры, она эффективна и безопасна.

### Заключение

Когда дело доходит до вопроса «что аблировать?», подход должен быть поэтапный. Обещающий результат в исследовании STAR AF II не подтвердился. Не было показано, что PVI с дополнительными линейными абляциями превосходит PVI. С другой стороны, частота успеха составила лишь около 50% в группе только PVI, что свидетельствует о том, что PVI как таковой, недостаточно для персистирующей фибрилляции предсердий.

Комбинация изоляции с системой CARTOFINDER и локализации высоких доминирующих частот, которые потенциально вызывают и поддерживают ФП, показала неплохие результаты.

Криоабляция в сочетании с системой диэлектрического картирования, продемонстрировала большой

потенциал благодаря тому, что вызывает окклюзию легочных вен без необходимости рентгеноскопии. Ультранизкотемпературная криоабляция, достигаемая за счет использования жидкого азота в качестве криогена, потенциально может повысить эффективность однократных криоабляционных устройств.

Еще один потенциальный прорыв в технологии абляции также появился в виде абляции импульсным полем (PFA). Мы считаем, что это может иметь потенциал для постепенной замены радиочастотной энергии в будущем. Есть все еще некоторые ответы на вопросы с точки зрения его безопасности и эффективности в долгосрочной перспективе.

Радиочастотная абляция (РЧА) с применением высоких мощностей, доставляющая очаги поражения за гораздо более короткое время по сравнению с обычной точечной абляцией с радиочастотной энергией <40, показала многообещающие начальные результаты в сокращении времени процедуры, времени рентгеноскопии и интраоперационной потребности. Тем не менее, первоначальные результаты проложили путь для более крупных проспективных рандомизированных исследований.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Kirchhof P, et al. 2016 ESC guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS. *Eur Heart J.* 2016;37 (38):2893–2962
2. Lippi G, Sanchis-Gomar F, Cervellin G. Global epidemiology of atrial fibrillation: An increasing epidemic and public health challenge. *Int J Stroke.* 2021 Feb;16 (2):217–221. doi: 10.1177/1747493019897870. Epub 2020 Jan 19. Erratum in: *Int J Stroke.* 2020 Jan 28;:1747493020905964. PMID: 31955707.
3. Calkins H, et al. 2012 HRS/EHRA/ECAS expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation: recommendations for patient selection, procedural techniques, patient management and follow-up, definitions, endpoints, and research trial design. *Europace.* 2012;14 (4):528–606.
4. Left atrial isolation: new technique for the treatment of supraventricular arrhythmias / J.M. Williams, R.M. Ungerleider, G.K. Lofland [et al.] // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* — 1980. — Vol. 80, N 3. — P. 373–380.
5. Catheter-induced His bundle ablation in a patient with reentrant tachycardia associated with a nodoventricular tract / A. Bhandari, F. Morady, E.N. Shen [et al.] // *J. Am. Coll. Cardiol.* — 1984. — Vol. 4, N 3. — P. 611–616.
6. Cohen H. Tachycardias and electrical pacing / H. Cohen, E. Arbel // *Med. Clin North. Am.* — 1976. — Vol. 60. — P. 343–367.
7. Pulmonary vein isolation for paroxysmal and persistent atrial fibrillation / H. Oral, B.P. Knight, H. Tada [et al.] // *Circulation.* — 2002. — Vol. 105. — P. 10771081.
8. Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins / M. Haïssaguerre, P. Jaïs, D.C. Shah [et al.] // *N. Engl. J. Med.* — 1998. — Vol. 339, N 10. — P. 659–666.
9. Which is the best catheter to perform atrial fibrillation ablation? A comparison between standard ThermoCool, SmartTouch, and Surround Flow catheters / L. Sciarra, P. Golia, A. Natalizia [et al.] // *J. Interv. Card. Electrophysiol.* — 2014. — Vol. 39. — P. 193–200.
10. Borlich M, et al. 3D mapping for PVI- geometry, image integration and incorporation of contact force into work flow. *J Atr Fibrillation.* 2018;10 (6):1795.
11. Masuda M, et al. Left atrial voltage mapping with a direction-independent grid catheter: comparison with a conventional circular mapping catheter. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2019;30 (12):2834–2840.
12. Ptaszek LM, et al. Rapid acquisition of high-resolution electroanatomical maps using a novel multielectrode mapping system. *J Interv Card Electrophysiol.* 2013;36 (3):233–242.
13. Sohns C, et al. First clinical experience using a novel high-resolution electroanatomical mapping system for left atrial ablation procedures. *Clin Res Cardiol.* 2016;105 (12):992–1002.
14. Zaman J, Baykaner T, Narayan SM. Mapping and ablation of rotational and focal drivers in atrial fibrillation. *Card Electrophysiol Clin.* 2019;11 (4):583–595.
15. Knecht S, et al. Multicentre evaluation of non-invasive biatrial mapping for persistent atrial fibrillation ablation: the AFACART study. *EP Europace.* 2017;19 (8):1302–1309.

16. Haissaguerre M, et al. Noninvasive panoramic mapping of human atrial fibrillation mechanisms: a feasibility report. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2013;24 (6):711–717.
17. Terracabras M, Piccini JP, Verma A. Ablation of persistent atrial fibrillation: challenges and solutions. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2020;31 (7):1809–1821.
18. Narayan SM, et al. Treatment of atrial fibrillation by the ablation of localized sources: CONFIRM (conventional ablation for atrial fibrillation with or without focal impulse and rotor modulation) trial. *J Am Coll Cardiol.* 2012;60 (7):628–636.
19. Mohanty S, et al. Impact of rotor ablation in non-paroxysmal AF patients: findings from the per-protocol population of the OASIS trial at long-term follow-up. *Am Heart J.* 2018;205:145–148.
20. Brachmann J, et al. Prospective randomized comparison of rotor ablation vs. conventional ablation for treatment of persistent atrial fibrillation — the REAFFIRM trial. *Heart Rhythm.* 2019;16 (6):963–965.

© Фаез Афсун (afsoonfayez@gmail.com), Сафонов Никита Владимирович (safon\_92@mail.ru),  
Файбушевич Александр Георгиевич (faibushevich.a@gmail.com), Баранович Владислав Юрьевич (vubara@yandex.ru).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Российский Университет Дружбы Народов



## ТРУДНЫЙ ПАЦИЕНТ: ИНФЕКЦИОННЫЙ ЭНДОКАРДИТ ИЛИ БОЛЕЗНЬ СТИЛЛА ВЗРОСЛЫХ?

### DIFFICULT PATIENT: INFECTIOUS ENDOCARDITIS AND ADULT STILL'S DISEASE?

**T. Shustova  
N. Deryabina  
L. Chegodaeva**

*Summary.* In the practice of a doctor, there are diseases that, according to the clinical picture, according to laboratory, instrumental research methods, may be similar to adult Still's disease. Therefore, it is very important to correctly assess the differential diagnostic series in order to make a correct diagnosis at earlier stages, to find the optimal way to treat this pathology. Objective: to characterize the difficulties of differential diagnosis of Still's disease and infectious endocarditis based on a clinical case.

*Keywords:* adult Still's disease; infectious endocarditis; clinical case; differential diagnosis.

**Шустова Татьяна Алексеевна**

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», Саранск  
shustova1999@yandex.ru

**Дерябина Надежда Михайловна**

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», Саранск  
nadya.gracheva13@mail.ru

**Чегодаева Людмила Викторовна**

К.м.н., доцент, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»,  
Саранск  
Chegodaeva20@rambler.ru

*Аннотация.* В практике врача существуют заболевания, которые по клинической картине, данным лабораторных, инструментальных методов исследования могут быть сходны с болезнью Стилла взрослых. Поэтому очень важно правильно оценить дифференциально-диагностический ряд, чтобы на более ранних этапах выставить корректный диагноз, найти оптимальный путь лечения данной патологии. Цель работы: охарактеризовать трудности дифференциальной диагностики болезни Стилла и инфекционного эндокардита на основании клинического случая.

*Ключевые слова:* болезнь Стилла у взрослых; инфекционный эндокардит; клинический случай; дифференциальный диагноз.

**И**нфекционный эндокардит в настоящее время остается одной из актуальных проблем медицины, вызывающих трудности ранней диагностики. В дебюте болезни нередко отмечается атипичное течение под различными «масками», что приводит к диагностическим ошибкам и как следствие, к несвоевременному назначению лечения. Часто клиническая картина заболевания проявляется симптомами системного воспалительного процесса неясной этиологии. Сложности диагностики могут быть обусловлены как отсутствием положительных результатов бактериологического исследования крови, так и поздним появлением характерных сердечных поражений эндокарда, например, при подостром течении [1].

Поражение костно-мышечной системы при инфекционном эндокардите наблюдается примерно в 40% случаев и может развиваться порой за несколько месяцев до возникновения типичных для этого заболевания симптомов. Наиболее часто выявляются артралгии (как в крупных, так и в мелких суставах), а также боли в мышцах и в области сухожильно-связочного аппарата [2].

Одним из ревматологических заболеваний, проявляющихся фебрильной лихорадкой, нейтрофильным

лейкоцитозом и спленомегалией является болезнь Стилла у взрослых, с которой необходимо проводить дифференциальный диагноз.

Болезнь Стилла взрослых — это редкое системное воспалительное заболевание, этиология которого остается неизвестной. Некоторыми авторами представлено, что эта болезнь является реактивным синдромом, при котором различные инфекционные (вирусные и бактериальные) агенты могут действовать как триггеры у лиц с генетической предрасположенностью [3].

Говоря об особенностях болезни Стилла взрослых, следует выделить то, что данное заболевание также обычно начинается с системных проявлений. Выраженная общая слабость может сопровождаться волнами повышения температуры тела до фебрильных цифр [4]. На фоне лихорадки возможно появление макулопапулезной или розеолезной сыпи лососевого цвета на разных частях тела. Эти высыпания обычно нестойкие, отмечаются только на высоте лихорадки и могут сопровождаться зудом [5].

Суставной синдром может быть представлен артралгиями или артритом преимущественно крупных

суставов. Могут выявляться как моно,— олиго, так и полиартриты. У некоторых пациентов может отмечаться симметричное поражение запястно-фаланговых и дистальных межфаланговых суставов. Нередко в клинической картине присутствуют миалгии [6]. Одним из ранних симптомов заболевания является боль в горле с признаками фарингита [5].

Указанные выше симптомы не всегда возникают одновременно, что часто затягивает диагностику [6]. Зачастую болезнь Стилла взрослых является диагнозом исключения, что заставляет врача выполнять скрининговый поиск для верификации инфекционной, аутоиммунной, неопластической природы патологического процесса [7].

Другие более редкие проявления включают острый респираторный дистресс синдром, хроническое рестриктивное поражение легких, тампонаду сердца, миокардит, клапанные вегетации, имитирующие инфекционный эндокардит [8].

Представляем клинический пример трудного диагностического поиска.

Пациент — мужчина, 53 лет, считает себя больным с августа 2021 года, когда появились боли в горле и повысилась температура тела до 40 °С. На фоне фебрильной температуры беспокоила ломота в суставах, больше в лучезапястных и плечевых. За медицинской помощью не обращался. Самостоятельно принимал НПВС по требованию. В октябре появился выраженный болевой синдром в поясничном отделе позвоночника, что заставило его обратиться за медицинской помощью. Пациент был госпитализирован в неврологическое отделение с диагнозом: Дегенеративно-дистрофическое заболевание позвоночника. Дегенеративный комбинированный стеноз на уровне поясничного L4-S1 позвонков. Нижняя полирадикулопатия. Болевой синдром. Проведенное лечение (НПВП, миорелаксанты, физиотерапия) способствовало улучшению самочувствия. С ноября по декабрь несколько раз обращался в поликлинику по месту жительства по поводу лихорадки, которая участковым терапевтом была расценена как ОРВИ. Лечение проводилось амбулаторно, неоднократно назначались короткие курсы антибактериальных препаратов (левофлоксацин, цефтриаксон). В результате терапии температура снижалась до нормальных значений, однако через некоторое время вновь повышалась. В феврале 2022 года обратился в поликлинику по месту жительства с жалобами на боли в поясничном и грудном отделах позвоночника, боли в мышцах, крупных суставах (коленные, голеностопные, плечевые), скованность движений, повышение температуры тела до 39 °С, также появи-

лись макулопапулезные высыпания розовой окраски на коже нижних конечностей и туловища, не сопровождающиеся кожным зудом. Пациент также отмечал общую слабость, одышку при ходьбе, снижение аппетита, похудел на 10 кг за 6 месяцев.

Подробно был собран анамнез. Факторов риска для развития инфекционного эндокардита не выявлено. Из перенесенных заболеваний отмечает ОРВИ, хронический панкреатит, хронический бронхит, гиперплазию предстательной железы, гипертоническую болезнь (АД повышается до 160/100 мм рт. ст.). Вредные привычки: курит до 15 сигарет в день, стаж курения около 12 лет, иногда употребляет алкогольные напитки. Аллергологический анамнез без особенностей.

Общее состояние оценено как средней степени тяжести. Кожные покровы бледные, отеков нет. Выявлено увеличение шейных, подмышечных и паховых лимфоузлов. Со стороны органов дыхания, сердечно-сосудистой системы отклонений от нормальных показателей не выявлено. АД 130/85 мм рт. ст. Печень на 5 см выступала из-под края правой реберной дуги. Селезенка перкуторно: поперечник — 8 см, длинник — 15 см.

При обследовании выявлены: нормохромная анемия средней степени тяжести (гемоглобин — 86 г/л, цветовой показатель — 0,85), нейтрофильный лейкоцитоз до  $13,5 \times 10^9$  /л, повышение СОЭ до 52 мм/ч.

Результаты биохимического анализа крови были следующими: сахар крови — 4,5 ммоль/л; мочевина — 8,7 ммоль/л; креатинин — 132 мкмоль/л; билирубин — 18,1 мкмоль/л; АЛТ — 68 Ед/л; АСТ — 0,56 Ед/л; СРБ (+++); ферритин — 350 нг/мл; анализ крови на стерильность (исследование проводилось трижды) — результат отрицательный. Общий анализ мочи — без патологии.

На ЭХО-КГ: Незначительная гипертрофия межжелудочковой перегородки. Камеры не расширены, клапанной патологии не обнаружено. Нарушений локальной и глобальной сократимости не выявлено (УО — 89%, ФВ — 61%), диастолическая дисфункция левого желудочка.

На ЭКГ зарегистрирована синусовая тахикардия с ЧСС — 115 в мин. Электрическая ось сердца типа S1S1S1. Снижение вольтажа основных зубцов в стандартных и усиленных отведениях. Неполная блокада правой ножки пучка Гиса.

При проведении УЗИ органов брюшной полости выявлены признаки гепатоспленомегалии, хронического панкреатита.

Таким образом, в связи с отсутствием бактериемии, вызванной типичными для инфекционного эндокардита возбудителями и характерных поражений эндокарда при эхокардиографии, недостаточным количеством малых диагностических критериев ИЭ диагностический поиск был продолжен. В перечне заболеваний по дифференциальному диагнозу рассматривались: злокачественные новообразования, в том числе лимфогранулематоз, лимфома, гемобласты, системные заболевания соединительной ткани и ряд инфекционных заболеваний. По результатам фиброгастродуоденоскопии, колоноскопии, рентгенографии грудной клетки, магнитно-резонансной томографии органов брюшной полости серьезной патологии, в том числе онкологической, обнаружено не было. Гематологом исключены заболевания крови опухолевой природы.

Пациент проконсультирован ревматологом, назначен анализ крови на ревматоидный фактор, антитела к циклическому цитруллиновому пептиду, антинуклеарный фактор. Результат анализов отрицательный.

На основании жалоб, анамнеза, результатов объективного обследования и лабораторно-инструментальных исследований выставлен диагноз: болезнь Стилла у взрослых. Больной госпитализирован в ревматологическое отделение, назначена терапия с применением НПВП и глюкокортикостероидов. В течение трех дней снизилась температура, уменьшились проявления суставного синдрома, однако симптомы органических поражений практически сохранялись, нарастали слабость, наблюдалась дальнейшая потеря веса, отмечалось снижение толерантности к физической нагрузке.

Через 1,5–2 недели с момента госпитализации пациент стал жаловаться на выраженную инспираторную одышку, усиливающуюся в горизонтальном положении. При аускультации сердца на верхушке выслушивался грубый систолический шум. Была назначена консультация кардиолога. Проведено трансторакальное эхокардиографическое обследование. Выявлено уплотнение створок митрального клапана, подвижное линейной формы объемное образование, связанное с передней створкой митрального клапана (1,6 x 0,5 см), флотирующее в ЛП и в ЛЖ. Фиксированное гиперэхогенное округлой формы образование на хордах передней створки митрального клапана (1,0 x 0,9 см) — вегетация, митральная регургитация 3–4 степени, вероятно, на фоне отрыва хорд. Умеренная дилатация ЛП. Незначительная гипертрофия межжелудочковой перегородки. Значительная легочная гипертензия (СДЛА — 63 мм рт. ст.). Нарушений локальной и глобальной сократимости не выявлено (УО — 89%, ФВ — 61%), диастолическая дисфункция левого желудочка.

УЗИ плевральных полостей: умеренное количество жидкости в обеих плевральных полостях.

На основании описанных выше данных выставлен диагноз: первичный инфекционный эндокардит митрального клапана, подострое течение. Отрыв хорд митрального клапана. Недостаточность митрального клапана 3–4 степени. Осложнение: ХСН II А стадия, ФК 3. Двусторонний гидроторакс. Значительная легочная гипертензия. Сопутствующий диагноз: Дегенеративно-дистрофическое заболевание позвоночника. Дегенеративный комбинированный стеноз на уровне поясничного L4-S1 позвонков. Нижняя полирадикулопатия. Болевой синдром. Анемия средней степени тяжести. Хроническая болезнь почек С3а СКФ (по формуле СКД-EPI) 52 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup>

Больной для дальнейшего лечения был переведен в кардиологическое отделение, была назначена терапия согласно клиническим рекомендациям «Инфекционный эндокардит и инфекция внутрисердечных устройств», утвержденным Министерством здравоохранения Российской Федерации в 2021 г.

На фоне проводимой терапии состояние пациента оставалось тяжелым, он был проконсультирован кардиохирургами, выявлены показания для хирургической коррекции порока МК, направлен на протезирование митрального клапана в ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России.

Таким образом, инфекционный эндокардит в настоящее время имеет различные «маски» и варианты течения. Представленный клинический случай является подтверждением сложной дифференциальной диагностики между болезнью Стилла у взрослых и инфекционного эндокардита. Эти два заболевания в своей клинической картине имеют очень много схожих проявлений и оба характеризуются симптомами системного воспалительного процесса. У данного пациента первичный инфекционный эндокардит развился на неизменном клапане, факторов риска, способствующих развитию заболевания, в анамнезе не отмечалось. Отрицательный результат микробиологического исследования крови, отсутствие характерных признаков поражения эндокарда окончательно снял настороженность врачей о возможном заболевании. Поэтому отсутствие правильного диагноза способствовало применению неадекватных доз антибактериальных препаратов, необходимых для лечения инфекционного эндокардита, не соблюдена и продолжительность антибиотикотерапии, что привело к прогрессированию заболевания и нарастанию проявлений сердечной недостаточности. Вместе с тем следует отметить, что с целью постановки диагноза пройден

большой путь диагностического поиска, было сделано множество диагностических процедур с целью исключения заболеваний характеризующимися схожими системными клиническими проявлениями. Таким образом, и в настоящее время, несмотря на улучшение возможно-

стей для своевременной диагностики и лечения инфекционный эндокардит нередко диагностируется поздно, что приводит к ухудшению течения заболевания, в том числе декомпенсации сердечной недостаточности на фоне деструктивных поражений клапанных структур.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьева Е.В., Попова Н.А., Волкова С.Н., Бодриевская И.А., Абашева Е.В. Фатальные ошибки поздней диагностики инфекционного эндокардита. Клинический случай // Современные проблемы науки и образования. — 2019. — № 4.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29034> (дата обращения: 22.02.2023)
2. Пономарева Е.Ю., Ребров А.П. Инфекционный эндокардит в практике ревматолога // Научно-практическая ревматология. 2012;50 (6):29–32.
3. Feist E, Mitrovic S, Fautrel B. Mechanisms, biomarkers and targets for adult-onset Still's disease. *Nat Rev Rheumatol* 2018;14 (10):603–18.
4. Муравьев Ю.В., Насонов Е.Л. Болезнь Стилла, развившаяся у взрослых // Научно-практическая ревматология. — 2011. — № 2. — С. 58–65
5. Имамединова Г.Р., Чичасова Н.В. Болезнь Стилла взрослых: клинические случаи // Современная ревматология. 2014;8 (4):39–42.
6. Длинный путь к диагнозу: болезнь Стилла взрослых / А.А. Нигматьянова [и др.] // Практическая медицина. — 2015. — Т. 2, № 4. — С. 79–81.
7. Fautrel B. Adult-onset Still disease / B. Fautrel // *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*. — 2008. — Vol. 22, № 5. — P. 773–792
8. Zenagui D, De Coninck J.P. Atypical presentation of adult-onset Still's disease mimicking acute bacterial endocarditis // *Eur Heart J* — 1995. — Vol. 16. — P.148–1450
9. Fautrel B, Zing E, Colmard JL, et al. Proposal for a new set of classification criteria for adult-onset still disease // *Medicine (Baltimore)* . — 2002. — Vol.81. — P.194–200.

© Шустова Татьяна Алексеевна (shustova1999@yandex.ru),

Дерябина Надежда Михайловна (nadya.gracheva13@mail.ru), Чегодаева Людмила Викторовна (Chegodaeva20@rambler.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



# КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ: ПРАВСТОРОННИЙ УЗЛОВОЙ ЗУТИРЕОИДНЫЙ ЗОБ С РЕТРОТРАХЕАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ

## CLINICAL CASE: RIGHT-SIDED NODULAR NON-TOXIC GOITER WITH A RETROTRACHEAL LOCATION

**A. Shegolev**  
**A. Larin**  
**A. Slobodyanik**  
**E. Svetlov**  
**R. Shafgullin**  
**V. Ulianova**

*Summary.* The article describes a clinical case of a right-sided nodular euthyroid goiter with a retrotracheal location of the nodular formation. Despite the pronounced compression and displacement of the trachea, the patient did not complain, the nodular formation was detected during pregnancy planning.

*Keywords:* thyroid surgery, fine-needle aspiration biopsy of the thyroid gland, FNA of the thyroid gland, Bethesda classification, goiter, nodular goiter, thyroidectomy, hemithyroidectomy, tracheal compression.

**Щеголев Александр Александрович**

Доктор медицинских наук, профессор, ФГАОУ ВО  
РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России  
ashegolev57@mail.ru

**Ларин Александр Александрович**

Кандидат медицинских наук, доцент, ФГАОУ ВО  
РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России;  
Руководитель группы эндокринной хирургии ГБУЗ КБ  
№ 85 ФМБА России  
alexandr\_larin@mail.ru

**Слободяник Андрей Сергеевич**

Соискатель, ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова  
Минздрава России;  
Врач-хирург хирургического отделения центра  
эндокринной хирургии ГКБ им. Ф.И. Иноземцева  
doc.slobodyanik@gmail.com

**Светлов Евгений Викторович**

Врач-хирург хирургического отделения центра  
эндокринной хирургии ГКБ им. Ф.И. Иноземцева  
ron\_63@mail.ru

**Шафигуллин Ринат Равильевич**

Врач-хирург хирургического отделения центра  
эндокринной хирургии ГКБ им. Ф.И. Иноземцева  
Dr.Rinat85@mail.ru

**Ульянова Варвара Александровна**

ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава  
России  
uley95@gmail.com

*Аннотация.* В статье описан клинический случай правостороннего узлового зутиреоидного зоба с ретротрахеальным расположением узлового образования. Несмотря на выраженную компрессию и смещение трахеи, пациентка никаких жалоб не предъявляла, узловое образование было выявлено при планировании беременности.

*Ключевые слова:* хирургия щитовидной железы, пункционная тонкоигольная аспирационная биопсия щитовидной железы, ПТАБ щитовидной железы, классификация Bethesda, зоб, узловой зоб, тиреоидэктомия, гемитиреоидэктомия, компрессия трахеи.

## Введение

**В** настоящее время, узловой зоб занимает второе место по распространенности среди всей эндокринной патологии, уступая только сахарному диабету и первое место среди заболеваний эндокринных органов, требующих хирургического лечения.

Пункционная тонкоигольная аспирационная биопсия (ПТАБ) на сегодняшний день является “золотым стандартом” морфологической верификации узловых образований щитовидной железы. Результаты ПТАБ при узловом зобе являются решающим фактором, определяющим как лечебную тактику в целом, так и объем хирургического вмешательства [1,2,3,4,5,6].



Рис. 1. Пациентка М. внешний вид передней поверхности шеи.

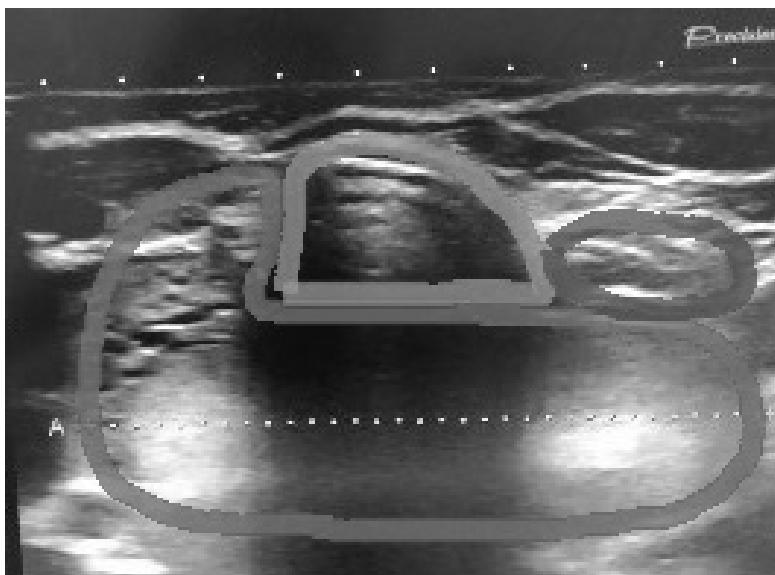


Рис. 2. Пациентка М. УЗИ щитовидной железы (красным цветом указана правая доля ЩЖ с узловым образованием, зеленым — трахея, синим — пищевод)

На сегодняшний день показания к хирургическому лечению узлового зоба строго ограничены. Наиболее частая тактика — динамическое наблюдение. Согласно клиническим рекомендациям Российской ассоциации эндокринологов [7] показаниями для хирургического лечения являются:

- ◆ функциональная автономия с манифестным или субклиническим тиреотоксикозом при невозможности лечения радиоактивным йодом.
- ◆ Цитологическая категория Bethesda IV, V и VI.
- ◆ синдром компрессии трахеи, установленный на основании КТ.

- ◆ косметический дефект, снижающий качество жизни.

Тем не менее в клинической практике встречаются пациенты, у которых, несмотря на выраженную компрессию органов шеи и средостения, отсутствуют какие-либо жалобы и явления дискомфорта.

**Клинический случай:**

Больная М. 26 лет, в марте 2020г проходила обследование в поликлинике №121 г. Москвы по поводу

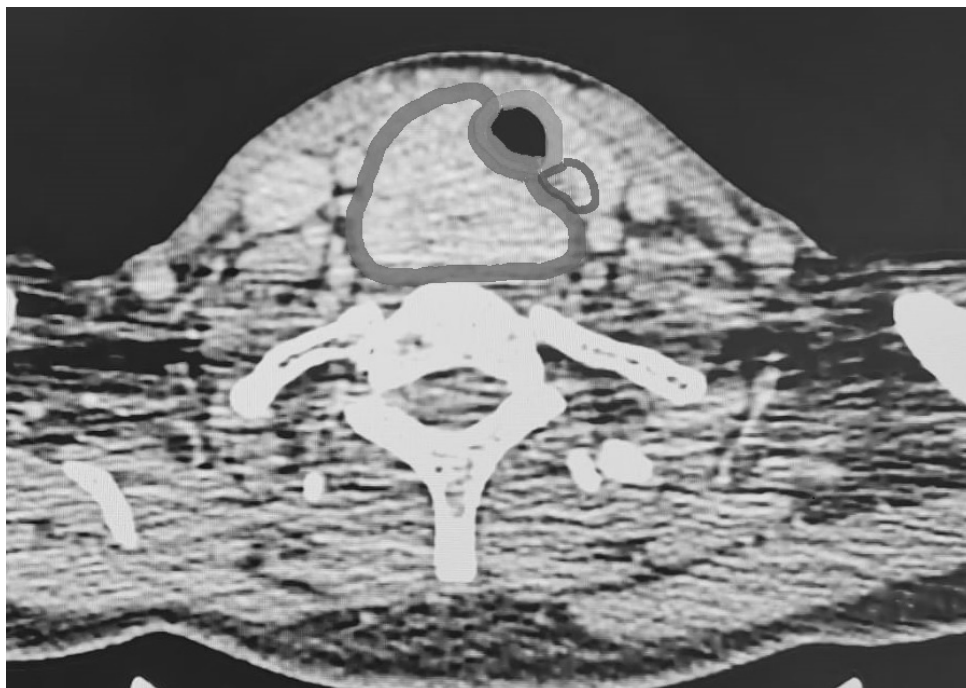


Рис. 3. МСКТ органов шеи (горизонтальный срез), красным цветом указан узел правой доли, синим — пищевод, зеленым — трахея



Рис. 4. МСКТ органов шеи (фронтальный срез), красным цветом указан узел правой доли, зеленым — гортань и трахея



Рис. 5. Послеоперационный материал

планирования беременности. При плановом УЗИ шеи выявлено узловое образование в правой доле щитовидной железы. Для определения дальнейшей тактики лечения направлена в Центр эндокринной хирургии ГКБ им. Ф.И. Иноземцева.

Из анамнеза: щитовидную железу ранее не обследовала, у эндокринолога не наблюдалась. Семейный анамнез не отягощен.

Локальный статус: передняя поверхность шеи не изменена, в правой доле щитовидной железы узловое образование убедительно не пальпируется (рисунок 1).

Гормональный статус: ТТГ — 2,25 мМЕ/л (0,4–4,0), кальцитонин — 1,0 пг/мл (<2).

УЗИ щитовидной железы: щитовидная железа расположена типично, размерами: правая доля — 93x33x28 мм (V – 41 мл), левая доля — 45x16x14 мм (V – 4,8 мл), перешеек 2,5 мм. Объем железы 45,8 мл. Контуры четкие, ровные. Структура паренхимы средней эхогенности, диффузно-неоднородная, в правой доле с сетью расширенных венозных сосудов. В правой доле лоцируется изоэхогенное образование, частично прикрытое трахеей, овальной формы, неоднородной структуры, с зонами сниженной эхогенности и единичными кистозными включениями диаметром 6 мм, с четким halo-ободком, видимая часть размерами 63x27x34 мм, при ЦДК с пери- и интранодулярным кровотоком (степень TIRADS установить не представляется возможным, в связи с частичной визуализацией узла). При ЦДК в правой доле отмечается выраженное

усиление сосудистого рисунка, в левой доле сосудистый рисунок не изменен. Периферические лимфоузлы не визуализируются (рисунок 2).

Выполнена пункционная тонкоигольная аспирационная биопсия узла правой доли щитовидной железы. Результат ПТАБ: цитограмма коллоидного зоба (Bethesda II).

МСКТ органов шеи: определяется объемное образование правой доли щитовидной железы размерами 29x42x50 мм со смещением гортани, трахеи и пищевода влево от срединной линии (рисунок 3, 4).

На основании проведенного обследования принято решение, что оптимальной тактикой в отношении пациентки, несмотря на отсутствие жалоб, проведение хирургического лечения в объеме правосторонней гемитиреоидэктомии.

Противопоказаний для хирургического лечения не выявлено.

В плановом порядке 21.10.2020 г. пациентка оперирована в объеме правосторонней гемитиреоидэктомии. Длительность операции составила 65 минут.

Обезболивание: эндотрахеальный наркоз. Несмотря на выраженное смещение трахеи, во время интубации сложностей не возникло.

Выполнен доступ по Кохеру с рассечением подкожной жировой клетчатки, подкожной мышцы шеи. Грудн-



ноподъязычная и грудинощитовидная мышцы справа выделены и отведены латерально, обнажена правая доля щитовидной железы.

При ревизии: правая доля размерами 4x4x7 см содержит узловое образование до 60 мм в диаметре, распространяющееся за трахею. Пре и паратрахеальные лимфоузлы не увеличены.

Ход операции: с техническими трудностями, обусловленными диффузной повышенной кровоточивостью тканей, ретротрахеальным расположением узлового образования, тупым и острым путем выделена правая доля щитовидной железы. Верхняя и нижняя щитовидные артерии выделены, перевязаны. Выполнена правосторонняя гемитиреоидэктомия. При экспозиции ложа правой доли щитовидной железы в трахеопищеводной борозде визуализируется возвратный гортанный нерв, целостность его не нарушена. При использовании постоянного нейромониторинга, потеря сигнала (loss of signal) не наблюдалась. Гемостаз — сухо. В ложе правой доли щитовидной железы установлен латексный выпускник. Рана послойно ушита отдельными узловыми швами. Косметический шов на кожу (рисунк 5).

Макропрепарат: правая доля щитовидной железы с узловым образованием размерами: 10x5x4 см, буровато-коричневая, эластичная. На разрезе: коричневая, практически вся доля представлена узловым образованием с четкими границами, желтоватого цвета.

В раннем послеоперационном периоде у пациентки отмечалась осиплость голоса. При проведении непрямой ларингоскопии выявлено, что голосовая щель широкая (7–8 мм) на вдохе отведение левой голосовой складки не ограничено, правая голосовая складка остается неподвижно в околосрединном положении. Заключение: парез отведения голосовой складки справа.

26.10.2020 г. в удовлетворительном состоянии пациентка выписана из стационара с рекомендациями: лечение у фониатора, гормонально-заместительная терапия левотироксина натрия 50 мкг в сутки под наблюдением эндокринолога.

Результат планового гистологического исследования: фолликулярная аденома микро-нормофолликулярного строения на фоне хронического лимфоцитарного тиреоидита.

При динамическом наблюдении за пациенткой в отдаленном послеоперационном периоде при непрямой ларингоскопии через 8 месяцев после операции: голосовая щель широкая (11–12 мм), ограничение движения голосовых складок не выявлено. По результатам УЗИ щитовидной железы: трахея расположена по срединной линии, правая доля оперативно удалена, левая доля расположена обычно, узловые образования достоверно не лоцируются. Гормональный статус: медикаментозный эутиреоз на фоне приема Левотироксина натрия 50 мкг в сутки.

### Обсуждение

Как было указано выше, показаниями к хирургическому лечению у больных с узловым зобом являются: функциональная автономия с манифестным или субклиническим тиреотоксикозом при невозможности лечения радиоактивным йодом, цитологическая категория Bethesda IV, V и VI, синдром компрессии трахеи, установленный на основании КТ, косметический дефект, снижающий качество жизни. Однако отсутствие жалоб, клинических проявлений, доброкачественного цитологического результата и косметического дефекта, показаниями к хирургическому лечению в нашем клиническом наблюдении явились выраженная компрессия, смещение пищевода и трахеи, выявленное случайным образом при планировании беременности.

Несмотря на сохранение целостности возвратного гортанного нерва во время операции, в раннем послеоперационном периоде имел место парез гортани. По всей видимости послеоперационное осложнение связано с чрезмерной тракцией узлового образования во время операции. При динамическом наблюдении спустя 8 месяцев после операции парез гортани регрессировал. Таким образом можно сделать вывод, что транзиторный парез гортани возможен в раннем послеоперационном периоде, независимо от сохранения целостности возвратного гортанного нерва.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тимофеева Л.А. Диагностическая тактика при узловых образованиях щитовидной железы. Казанский медицинский журнал 2012; 93 (1):103–107.
2. Соколова Е.И., Сергеева Е.Д., Александров Ю.К. Формирование показаний для тонкоигольной аспирационной пункционной биопсии при субсантиметровых узлах щитовидной железы. Хирургия. Онкология 2013; 2 (67):88–90.
3. Щеголев А.А., Ларин А.А. Неотложная резекция щитовидной железы у 80-летней пациентки с загрудным зобом и компрессионным синдромом. Клиническая геронтология 2010; 7–8: 37–41.
4. Щеголев А.А., Ларин А.А. Малоинвазивная хирургия щитовидной железы. Лечебное дело 2008; 2:49–51.

5. Tanaka A., Hirokawa M. Optimal needle size for thyroid fine needle aspiration cytology. *Endocrine journal* 2019; 66 (2):143–147.
6. Щеголев А.А., Ларин А.А. Пункционная тонкоигольная аспирационная биопсия узлов щитовидной железы: сравнительная оценка цитологического и гистологического заключений. *Лечебное дело* 2021; 3:120–124.
7. Бельцевич Д.Г. Клинические рекомендации диагностика и лечение (много) узлового зоба у взрослых и детей. Общественная организация “Российская ассоциация эндокринологов”. Доступно по: [https://www.endocrincentr.ru/sites/default/files/specialists/science/clinic-recomendations/proekt\\_uzlovoi\\_zob.pdf](https://www.endocrincentr.ru/sites/default/files/specialists/science/clinic-recomendations/proekt_uzlovoi_zob.pdf)

---

© Щеголев Александр Александрович ( [ashegolev57@mail.ru](mailto:ashegolev57@mail.ru) ), Ларин Александр Александрович ( [alexandr\\_larin@mail.ru](mailto:alexandr_larin@mail.ru) ), Слободяник Андрей Сергеевич ( [doc.slobodyanik@gmail.com](mailto:doc.slobodyanik@gmail.com) ), Светлов Евгений Викторович ( [ron\\_63@mail.ru](mailto:ron_63@mail.ru) ), Шафигуллин Ринат Равильевич ( [Dr.Rinat85@mail.ru](mailto:Dr.Rinat85@mail.ru) ), Ульянова Варвара Александровна ( [uley95@gmail.com](mailto:uley95@gmail.com) ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



## НАШИ АВТОРЫ    OUR AUTHORS

**Abusueva Z.** — Professor, Dagestan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala  
zuhraabusueva@mail.ru

**Akhundova N.** — PhD, correspondence doctoral student (SD), Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku  
nazilya.akhundova@mail.ru

**Alieva S.** — Associate Professor, Dagestan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala  
alievas@mail.ru

**Allahkulieva S.** — Associate Professor, Dagestan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala  
mammaeva@yandex.ru

**Amiraslanov E.** — Graduate student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
elmar0131@gmail.com

**Amosov V.** — Candidate of Technical Sciences, associate Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
amosov\_vv@spbstu.ru

**Babashly A.** — PhD, correspondence doctoral student (SD), Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku  
aynurb@list.ru

**Bakhshaliyeva Konul Farukh** — Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory "Microbiological Biotechnology" of the Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan  
konul.baxsh@mail.ru

**Baranovich V.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Peoples' Friendship University of Russia", Department of Hospital Surgery with course of pediatric surgery  
vubara@yandex.ru

**Bashmakov R.** — Competitor of NCFU (North Caucasian Federal University)  
bashmakov\_r@inbox.ru

**Bolshelapov M.** — Postgraduate student, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov  
mihan3110@yandex.ru

**Brovko A.** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Associate Professor, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov  
brovkoav@gmail.com

**Bukarev A.** — Applicant, National Research University of Electronic Technology  
anton@bukarev.org

**Chegodaeva L.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Mordovia N.P. Ogarev State University, Saransk, Russia  
Chegodaeva20@rambler.ru

**Cherenkova I.** — Senior Lecturer, Moscow state academy of veterinary medicine and biotechnology of K.I. Scriabin

**Chernetskaya I.** — Doctor of technical sciences, docent, Southwest State University

**Deryabina N.** — Mordovia N.P. Ogarev State University, Saransk, Russia  
nadya.gracheva13@mail.ru

**Dobrokhotova Yu.** — MD, professor, RNIMU them. N.I. Pirogova  
pr.dobrohotova@mail.ru

**Drozhhina V.** — Associate professor, Voronezh State Pedagogical University  
o.drozhhin@gmail.com

**Dubinina V.** — Associate Professor, Far East State Medical University  
vickdoctor@gmail.com

**Efendi Ulviya Arif** — Researcher at the Laboratory "Microbiological Biotechnology" of the Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan  
azmbi@mail.ru

**Egorova A.** — Junior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan  
egorovanastassia@gmail.com

**Eliseikina E.** — Assistant, N.P. Ogarev National Research Mordovia State University  
trifan.elena2994@gmail.com

**Emel'yanov Andrei Aleksandrovich,** — FSBEI HE «National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryova»  
booger.man2013@yandex.ru

**Erofeeva A.** — V.I. Vernadsky Crimean Federal University, S.I. Georgievsky Medical Academy Institute, Simferopol, Russia  
Erofeeva.angel@mail.ru

**Evdokimova I.** — Candidate of science, docent, East Siberia state university of technology and management  
evdinga@gmail.com

**Faybushevich A.** — Candidate of Medical Sciences, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Peoples' Friendship University of Russia"  
faibushevich.a@gmail.com

**Fayez A.** — Cardiovascular surgeon, postgraduate student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Peoples' Friendship University of Russia"  
afsoonfayez@gmail.com

**Felker E.** — Cand. Sci. (Medical), Associate Professor, Kursk State Medical University, Kursk, Russia  
felkerev@kursksmu.net

**Filkova A.** — Senior lecturer, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Siberian Fire and Rescue Academy GPS EMERCOM of Russia (Zheleznogorsk)

**Gatiyatullina A.** — Junior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan  
gaf9212@gmail.com

**Golushkov N.** — Graduate student, Astrakhan State Technical University  
kolian30rus@yandex.ru

**Goryachkin B.** — Candidate of technical Sciences, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University  
bsgor@mail.ru

**Gudratova Fidan Rahim** — Master, Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan  
fqudretova@gmail.com

**Huseynli S.** — Master, Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku  
azmbi@mail.ru

**Huseynova Gulnar Nazim** — Doctoral student of the Institute of Agriculture of the Ministry of Agriculture of the Republic of Azerbaijan  
gulnarefeyzullayeva0707@gmail.com

**Ilina I.** — MD, Professor, RNIMU named after N.I. Pirogov  
iliyina@mail.ru

**Ivanchenkova V.** — Tver State Medical University  
ivanchenkovavaleriya@yandex.ru

**Ivanov V.** — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
vadim1999ivanov@gmail.com

**Kalashnikov S.** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Siberian State Industrial University

**Kalimatova D.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, RNIMU them. N.I. Pirogova  
dockalimatovadonna@yandex.ru

**Kalinnikova T.** — Head of the Laboratory, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan  
tbkalinnikova@gmail.com

**Kapranov S.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University  
serg.kapranov@gmail.com

**Khakimova Z.** — PhD in Physics and Mathematics, Mozhaisky Military Space Academy  
vka@mil.ru

**Khaptakhaeva N.** — Candidate of science, docent, East Siberia state university of technology and management khapnb@gmail.com

**Hashaeva T.** — Associate Professor, Dagestan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala hashaeva25@mail.ru

**Kiyaeva T.** — FSBEI HE «National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryova» kiyaeva.tanya.2002@gmail.com

**Kizhapkina S.** — FSAEI HE «Russian National Research Medical University. N.I. Pirogov» skizhapkina@bk.ru

**Kokuev A.** — Candidate of Technical Science, associate professor, Astrakhan State Technical University

**Kolikova T.** — Senior lecturer, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University kolikova\_tv@spbstu.ru

**Konakov P.** — MIREA – Russian Technological University konakov.po@yandex.ru

**Korolev E.** — Kursk State Medical University, Kursk, Russia korolevva@kursksmu.net

**Korolev V.** — Doct. Sci. (Biology), Professor, Kursk State Medical University, Kursk, Russia medecol1@yandex.ru

**Kozyreva K.** — FGAOU VO First Moscow State Medical University. THEM. Sechenov of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University) kami.k.90@mail.ru

**Kurmysheva T.** — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, N.P. Ogarev National Research Mordovia State University Tatkurmysheva@mail.ru

**Kushnikov V.** — Doctor of technical sciences, FSC SRC RAS principal, Institute of Precision Mechanics and Control Saratov Federal Scientific Centre of RAS kushnikoff@yandex.ru

**Kushnir E.** — Assistant, Tver State Medical University Katerina.kushnir2020@mail.ru

**Kutlikova I.** — Senior Lecturer, Moscow state academy of veterinary medicine and biotechnology of K.I. Scriabin

**Labzina M.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, FSBEI HE «National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryova» LudmilaMedin@yandex.ru

**Larin A.** — Candidate of Medical Sciences, associate professor, Pirogov Russian National Research Medical University alexandr\_larin@mail.ru

**Leontieva T.** — Candidate of Technical Sciences, docent, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University leontieva\_tv@spbstu.ru

**Leontieva T.** — PhD in Technical Sciences, docent, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University leontyeva@ics2.ecd.spbstu.ru

**Lomovtsev R.** — Postgraduate student, Moscow City University (MCU) feedback.roman@gmail.com

**Lukicheva Ya.** — N.P. Ogarev National Research Mordovia State University koshmanovayana@gmail.com

**Lyakhmanov D.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University dm.virger@gmail.com

**Makarova N.** — Associate professor, Penza State University n1stom@yandex.ru

**Mammedaliyeva M.** — Doctor of Biology in Philosophy, dissertation student (DN), Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku meryam77@mail.ru

**Mammaeva S.** — Associate Professor, Dagestan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala mammaeva@gmail.ru

**Masaleva M.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, FSBEI HE "State Agrarian University Northern Trans-Urals" (Tyumen)

**Mikhaelis S.** — Candidate of Pedagogics, associate professor, Irkutsk State University of Railway Transport  
msibgu@rambler.ru

**Mikhaelis V.** — Candidate of Pedagogics, associate professor, Irkutsk State University of Railway Transport  
mvv\_1967@mail.ru

**Mikhailov I.** — Surgeon, City Clinical Hospital No. 1 im. N.I. Pirogov, Moscow  
svethirurgii@mail.ru

**Mohommadi Sumaya Mohamad Davud** — Master, Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan  
sumimohammadi0104@gmail.com

**Morozov M.** — Resident doctor in neurology, FSBEI HE «National Research Mordovian State University named after N. P. Ogaryova»  
morozov\_mv93@mail.ru

**Morozova A.** — Resident doctor in obstetrics and gynecology, FSBEI HE «National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryova»  
asyatol97@mail.ru

**Muravlyantseva M.** — Tver State Medical University  
marym200799@gmail.com

**Novikov M.** — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Moscow state academy of veterinary medicine and biotechnology of K.I. Scriabin  
6773285@gmail.com

**Odamanova M.** — Associate Professor, Dagestan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala  
stacpro@yandex.ru

**Paramonova D.** — N.P. Ogarev National Research Mordovian State University  
paramonova@yandex.ru

**Pavlova S.** — Associate Professor, Far East State Medical University  
sp-pavlova@mail.ru

**Penzev K.** — Graduate student, Belgorod State National Research University  
konstantin.penzev@yandex.ru

**Peskova A.** — Penza State University  
peskova220@gmail.com

**Peylivanov M.** — V.I. Vernadsky Crimean Federal University, S.I. Georgievsky Medical Academy Institute, Simferopol, Russia  
peylivanovm@mail.ru

**Pligina E.** — Candidate of Medical Sciences, Senior Lecturer, N.P. Ogarev National Research Mordovian State University  
pliginaev@mail.ru

**Poleshchuk O.** — Candidate of Medical Sciences, associate Professor, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, S.I. Georgievsky Medical Academy Institute, Simferopol, Russia  
pol.o.u@inbox.ru

**Potenko V.** — Doct. Sci. (Biology), Associate Professor, Gomel State Medical University, Gomel, Belarus  
gsmu@gsmu.by

**Reshidov Z.** — V.I. Vernadsky Crimean Federal University, S.I. Georgievsky Medical Academy Institute, Simferopol, Russia  
Zair2719@mail.ru

**Romashkova O.** — Doctor of Engineering, Professor, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA)  
ox-rom@yandex.ru

**Safonov N.** — Candidate of Medical Sciences, Cardiovascular surgeon, City Clinical Hospital No. 1 named after N. I. Pirogova  
safon\_92@mail.ru

**Saradgishvili S.** — Candidate of Technical Sciences, docent, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
ssaradg@yandex.ru

**Sedykh A.** — Assistant, Kursk State Medical University, Kursk, Russia  
turquoise95@mail.ru

**Selin V.** — Graduate student, Southwest State University  
selinvlad1@yandex.ru

**Selyutin A.** — Postgraduate student, Institute of Precision Mechanics and Control Saratov Federal Scientific Centre of RAS  
aseliutin@ya99.ru

**Semeleva E.** — Doctor of Medical Sciences, N.P. Ogarev National Research Mordovian State University  
shtanina37@mail.ru

**Semeleva E.** — Doctor of Medical Sciences, N.P. Ogarev National Research Mordovia State University  
shtanina37@mail.ru

**Setyaeva J.** — FSBEI HE «National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryova»  
setyaeva-julia@rambler.ru

**Shafigullin R.** — Surgeon at Center for Endocrine Surgery of the Inozemtsev State Clinical Hospital  
Dr.Rinat85@mail.ru

**Shalgieva S.** — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
shalgieva.sl@edu.spbstu.ru

**Shalyapina A.** — Tver State Medical University  
annaShal1@mail.ru

**Shegolev A.** — Doctor of medical sciences, Professor, Pirogov Russian National Research Medical University  
ashegolev57@mail.ru

**Shustova T.** — Mordovia N.P. Ogarev State University, Saransk, Russia  
shustova1999@yandex.ru

**Slobodyanik A.** — Surgeon at Center for Endocrine Surgery of the Inozemtsev State Clinical Hospital  
doc.slobodyanik@gmail.com

**Slukina M.** — Penza State University  
m\_slukina@mail.ru

**Solokhov I.** — Undergraduate, Bauman Moscow State Technical University  
sir1504@mail.ru

**Stefanyan N.** — Associate Professor, Dagestan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala  
stefanyannatella @yandex.ru

**Stepanenko M.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University  
ma.stepanenko@gmail.com

**Svetlov E.** — Surgeon at Center for Endocrine Surgery of the Inozemtsev State Clinical Hospital  
ron\_63@mail.ru

**Timofeev A.** — CEO of SibDigital LLC  
tan@sibdigital.net

**Toropova O.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov  
toropovaoa@inbox.ru

**Tsarik D.** — Director for the creation of radio direction finding facilities, LLC "Special Technology Center", St. Petersburg  
dvtsar@gmail.com

**Ulianova V.** — Pirogov Russian National Research Medical University  
uley95@gmail.com

**Umerov I.** — V.I. Vernadsky Crimean Federal University, S.I. Georgievsky Medical Academy Institute, Simferopol, Russia  
ireasu.u@gmail.com

**Vasyanin A.** — Graduate student, Siberian State Industrial University  
ktiflex829@gmail.com

**Velichko D.** — V.I. Vernadsky Crimean Federal University, S.I. Georgievsky Medical Academy Institute, Simferopol, Russia  
velickoliza@gmail.com

**Yachmeneva L.** — Assistant, Kursk State Medical University, Kursk, Russia  
yachmenevala@kursksmu.net

**Yusifova M.** — PhD, correspondence doctoral student (SD), Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku  
mqezalova@mail.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) ).