

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№2 2021 (ФЕВРАЛЬ)

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>

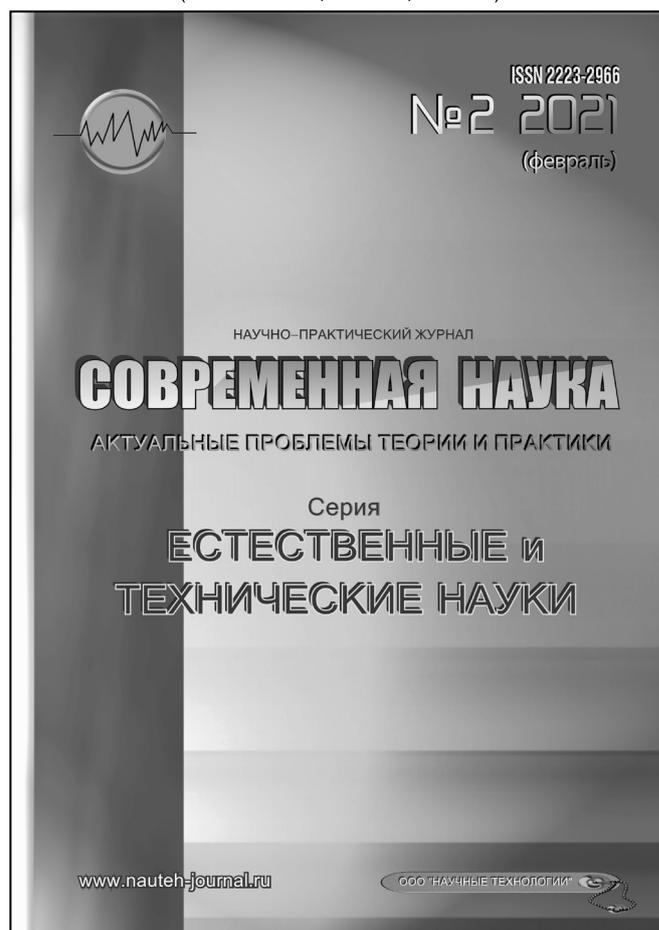
Журнал зарегистрирован Федеральной службой  
по надзору в сфере массовых коммуникаций,  
связи и охраны культурного наследия.

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

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(БАК 05.13.00, 03.02.00, 14.01.00)



### 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 25.02.2021 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

**Бутковский А., Ахмедова Н. Р., Шерман Н. А.** — Удаление пестицидов в искусственных водно-болотных угодьях с основанием из пемзы и вермикулита  
*Butkovsky A., Akhmedova N., Sherman N.* — Pesticides removal in wetlands with a pumice and vermiculite body ..... 6

**Доронина Г. С.** — Абиотические факторы, влияющие на состояние интродуцированного вида ели на территории Елизовского лесничества Камчатского края  
*Doronina G.* — Abiotic factors affecting condition introduced spirit on the territory of Yelizovsky forestry Kamchatsky region ..... 13

**Макарова Е. А., Гринько Е. К.** — Оценка экологического состояния лесопарка «Кусково» г. Москвы по флуктуирующей асимметрии листьев клена остролистного  
*Makarova E., Grinko E.* — Assessment of the ecological state of the Kuskovo forest park in Moscow based on the fluctuating asymmetry of the leaves of the holly maple. .... 16

## Информатика, вычислительная техника и управление

**Апанасенко А. В., Паначев А. А., Берг Д. Б.** — Модельное управление ростом предпринимательской сети локального сообщества с автономизированными финансами  
*Apanasenko A., Panachev A., Berg D.* — Model growth management of the local community entrepreneurial network with autonomous finance ..... 20

**Боршевников А. Е., Гончаров С. М., Добржинский Ю. В.** — О требованиях к формированию синтетических образов электроэнцефалограммы для задач высоконадежной биометрической аутентификации  
*Borshchikov A., Goncharov S., Dobrzhinskii Yu.* — Requirements for the formation of synthetic images of the electroencephalogram for the tasks of highly reliable biometric authentication. .... 27

**Ваванов Д. А.** — Моделирование купольной части архитектурного объекта в 3D MAX  
*Vavanov D.* — Modeling the dome of an architectural object in 3D MAX. .... 30

**Голодков Ю. Э., Руденко М. Б., Усольцев Д. В.** — Автоматизация процесса контроля данных с приборов учета потребляемых ресурсов  
*Golodkov Yu., Rudenko M., Usol'cev D.* — Automation of the data control process from the devices for measuring consumption resources. .... 34

**Горелов М. А.** — Алгоритм формирования сверточных ансамблей в нереккурентных нейронных сетях для обработки прогнозов временных рядов в автоматических торговых системах  
*Gorelov M.* — An algorithm for the formation of convolutional ensembles in non-recurrent neural networks for processing time series forecasts in automatic trading systems. .... 38

**Гофман М. В.** — Обнаружение маркера в цифровом аудиосигнале авторизованным получателем  
*Gofman M.* — Detection of marker in digital audio signal by authorized recipient. .... 45

**Жданова Ю. И.** — Алгоритм адаптивного управления оппозитными исполнительными системами с переменной структурой  
*Zhdanova Yu.* — Algorithm for adaptive control of opposed executive systems with variable structure ... 51

**Милюков П. А.** — Сравнительный анализ результатов исследования компьютерной модели солнечного коллектора с результатами расчета по предложенной методике  
*Milyukov P.* — Comparative analysis of the results of the study a computer model of a solar collector with calculation results by the proposed method ..... 58

- Митрофанов С. Ю., Рыбников С. И.** — Анализ системы математического обеспечения тренажерного человеко-машинного комплекса полунатурного моделирования системы управления летательным аппаратом  
*Mitrofanov S., Rybnikov S.* — Analysis of the mathematical support system of the Training Human-Machine Complex of AC Control Systems' Semirealistic Simulation ..... 66
- Мясоутов Р. Х.** — Оптимизация признаков в задаче распознавания пола человека по его почерку  
*Myasoutov R.* — Optimization of features in the problem of recognizing a person's gender by his handwriting ..... 72
- Назарова О. Ю., Сагдеев А. К., Стахеев И. Г., Титова О. В., Шилина А. Н.** — Совершенствование методики количественной оценки угроз информационной безопасности телекоммуникационных систем и сетей  
*Nazarova O., Sagdeev A., Stakheev I., Titova O., Shilina A.* — Improving the methodology quantitative assessment of threats to information security of telecommunications systems and networks ..... 77
- Одинцова М. А.** — Управление информационными технологиями как составляющая СРМ-систем  
*Odintsova M.* — Information technology management as a component of CPM-systems ..... 85
- Салтанова Т. В.** — О сходимости решения задачи о нагружении двухфазного основания методом конечных элементов  
*Saltanova T.* — On the convergence of the solution of the problem of loading a two-phase base by the finite element method. .... 92
- Соловьев С. В.** — Нештатные ситуации в космической технике и принципы их парирования  
*Solovuyov S.* — Emergency situations in space technology and the principles of their parry ..... 97
- Третьяк А. В., Капецкий И. О., Верещагина Е. А.** — Использование преимуществ низкоуровневых языков программирования для нового разрабатываемого языка программирования  
*Tretyak A., Kapetsky I., Vereshchagina E.* — Taking advantage of low-level programming languages for a new programming language ..... 104
- Фам Туан Ань** — Персонализация пользовательских данных для повышения точности системы помощи водителю на основе машинного обучения  
*Pham Tuan Anh* — Personalization of user data to increase the accuracy of the driver assistance system based on machine learning ..... 108
- Клиническая медицина
- Алдатов Т. С., Черebilло В. Ю., Драгун В. М., Бирагов Д. В.** — Применение систем межостистой динамической стабилизации у пациентов со стенозом поясничного отдела позвоночника на фоне снижения костной плотности  
*Aldatov T., Cherebello V., Dragoon V., Biragov D.* — Efficiency and safety of the titanium-based dynamic stabilization system in patients with degenerative stenosis of the lumbar spine and reduced bone density ..... 115
- Боровецкая М. А.** — Современные подходы к диагностике деменции  
*Borovetskaya M.* — Modern approaches to diagnostics of dementia ..... 121
- Еременко И. И.** — Триметиламиноксид (ТМАО) как предиктор риска и мишень для профилактики и терапии заболеваний сердечно-сосудистой и центральной нервной систем  
*Eremenko I.* — Trimethylaminoxide (TMAO) as a risk predictor and a target for the prevention and treatment of diseases of the cardiovascular and central nervous systems ..... 126
- Журбенко В. А.** — Оценка уровня знаний родителей и детей дошкольного возраста по вопросам гигиены полости рта  
*Zhurbenko V.* — Assessment of the level of knowledge of parents and children of pre-school age on oral hygiene ..... 135
- Карсанов А. М., Маскин С. С., Дербенцева Т. В., Ремизов О. В.** — К 30-летию выполнения первой лапароскопической холецистэктомии в России: начало становления эволюционной технологии  
*Karsanov A., Maskin S., Derbentseva T., Remizov O.* — To the 30-th anniversary of the first laparoscopic cholecystectomy in Russia: the beginning of an development of an evolutionary technology ..... 138

<i>Карсанов А. М., Кульчиев А. А., Маскин С. С., Дербенцева Т. В., Ремизов О. В.</i> — Аспекты совершенствования технологии выполнения лапароскопической холецистэктомии при остром холецистите и ожирении <i>Karsanov A., Kultchiev A., Maskin S., Derbentseva T., Remizov O.</i> — Aspects of improving the technology for performing laparoscopic cholecystectomy in acute cholecystitis and obesity..... 142	<i>Терюшкова Ж. И., Васильев В. С., Важенин А. В., Васильев С. А., Ломакин Е. А., Димов Г. П.</i> — Сравнительный анализ эффективности традиционного хирургического лечения постлучевых ректовагинальных свищей и лечения с использованием микроинъекционной аутотрансплантации тканей <i>Teryushkova Zh., Vasilyev V., Vazhenin A., Vasilyev S., Lomakin E., Dimov G.</i> — Comparative analysis of the effectiveness of traditional surgical treatment of post-radiation rectovaginal fistula and treatment using microinjection of autotransplant tissues ..... 177
<i>Магомедов М. М., Османов О. М.</i> — Методы хирургического лечения многоузлового зоба у пациентов в йододефицитном регионе <i>Magomedov M., Osmanov O.</i> — Methods of surgical treatment of multinodular goiter in patients living in an iodine-deficient region ..... 148	<i>Шалин В. В., Теричев А. Е., Маркосьян С. А., Суванов Б. С., Гечас А. А.</i> — Оперативное лечение травматических повреждений полового члена. Обзор литературы <i>Shalin V., Terichev A., Markosyan S., Suvanov B., Gechas A.</i> — Surgical treatment of traumatic injuries of the penis. Literature review ..... 183
<i>Моисеев А. А.</i> — Место операции пластики аортального клапана аутоперикардом по Озаки в лечении приобретенных аортальных пороков <i>Moiseev A.</i> — The place of the Ozaki operation in the surgical therapy of aortic valve failure ..... 153	<i>Ягафарова К. Р., Раскин Г. А., Винокуров В. Л., Мухина М. С.</i> — Показатели выживаемости и экспрессия нейроэндокринных маркеров при эндометриоидном и серозном раке яичников <i>Yagafarova K., Raskin G., Vinokurov V., Mukhina M.</i> — Survival rates and expression of neuroendocrine markers in endometrioid and serous ovarian cancer.... 187
<i>Мошенская С. П., Савельева М. И.</i> — Оценка роли медицинских ошибок в судебно-медицинских экспертизах за период 2009–2019 гг. <i>Moshenskaya S., Savelyeva M.</i> — Assessment of the role of medical errors in forensic examinations for the period 2009–2019 ..... 156	
<i>Мусхаджиев А. А.</i> — Сывороточные показатели системы цитокинов у больных ХГ С <i>Muskhadzhiev A.</i> — Serum indicators of the cytokine system in patients with chronic hepatitis C..... 165	
<i>Симонян Т. В.</i> — Влияние сульфатредуцирующих бактерий на возникновение пародонтита <i>Simonyan T.</i> — The effect of sulfate-reducing bacteria on the occurrence of periodontitis ..... 173	
	<b>Информация</b>
	Наши авторы. Our Authors..... 192
	Требования к оформлению рукописей и статей для публикации в журнале ..... 195

# УДАЛЕНИЕ ПЕСТИЦИДОВ В ИСКУССТВЕННЫХ ВОДНО-БОЛОТНЫХ УГОДЬЯХ С ОСНОВАНИЕМ ИЗ ПЕМЗЫ И ВЕРМИКУЛИТА

## PESTICIDES REMOVAL IN WETLANDS WITH A PUMICE AND VERMICULITE BODY

**A. Butkovsky  
N. Akhmedova  
N. Sherman**

*Summary.* Pesticides are widely used in agriculture and forestry. As a result, from circulation, they are present in all components of the natural environment and can negatively affect them. In this paper, a biotechnological method of purifying natural surface water from pesticides is considered, some results of studies of the cleansing ability of an artificially created wetland are presented. The experimental part was carried out at the Center for Environmental Research. Helmholtz in the framework of the DBU program.

*Keywords:* pesticides, water, treatment, wetlands, treatment facility..

**Бутковский Андрей**

*Н.с., Центр экологических исследований  
им. Гельмгольца, Лейпциг, Германия*

**Ахмедова Наталья Равиловна**

*К.б.н., доцент, ФГБОУ ВО «Калининградский  
государственный технический университет»,  
Калининград*

**Шерман Никита Алексеевич**

*Аспирант, ФГБОУ ВО «Калининградский  
государственный технический университет»,  
Калининград  
nik172008@mail.ru*

*Аннотация.* Пестициды широко используют в сельском и лесном хозяйствах. В результате из циркуляции они присутствуют во всех компонентах природной среды, могут негативно на них влиять. В данной работе рассматривается биотехнологический метод очистки поверхностной природной воды от пестицидов, представлены некоторые результаты исследований очищающей способности искусственно созданного водно-болотного угодья. Экспериментальная часть проводилась в Центре экологических исследований им. Гельмгольца в рамках программы DBU.

*Ключевые слова:* пестициды, вода, очистка, водно-болотные угодья, очистное сооружение.

## Введение

**В** Калининградской области очень хорошо развита гидрографическая сеть, которая включает в себя более 4610 водных объектов, на которых расположены около 1100 населенных пунктов. Не более 100 из этих населенных пунктов имеют очистные сооружения, в основном это крупные города. Более 1000 населенных пунктов не имеют очистных сооружений и сбрасывают бытовые сточные воды на рельеф или в мелиорационные каналы и реки бассейна Балтийского моря. Кроме того, Калининградская область является пolderной зоной России, и существует проблема вымывания удобрений, пестицидов и других загрязнителей через закрытые и открытые дренажные системы в региональные водные объекты.

Вода, загрязненная этими веществами, может очищаться на очистных сооружениях. Сегодня существует много типов очистных сооружений, но для данного исследования были выбраны водно-болотные угодья. Водно-болотные угодья — это искусственные сооружения для очистки муниципальных или промышлен-

ных сточных вод, сельскохозяйственных или дождевых вод.

Водно-болотные угодья — это технические системы, которые используют природные функции растительности, почвы и микроорганизмов для очистки сточных вод. В зависимости от типа сточных вод, дизайн водно-болотного угодья должен быть соответствующим образом адаптирован. Водно-болотные угодья используются для очистки как бытовых, так и промышленных сточных вод.

Эти установки имеют определенные преимущества по сравнению с механической и химической обработкой, а также аэрированными биореакторами (или так называемым процессом с активным илом), а именно полное отсутствие химических реагентов, низкое или нулевое потребление энергии, отсутствие потребления невозобновляемой энергии, относительно низкие затраты на строительство и эксплуатацию, улучшенная рекреационная привлекательность района использования.

В сельском хозяйстве Калининградской области интенсивно применяются удобрения и пестициды, что при-

Таблица 1. Перечень пестицидов, используемых в опыте

Пестицид	Тип
МСРА	Г
Бентазон (Bentazone)	Г
Металаксил (Metalaxyl)	Ф
Пропиконазол (Propiconazole)	Ф
Имидаклоприд (Imidacloprid)	И

МСРА (2-метил-4-хлорфеноксиуксусная кислота) является эффективным, широко используемым гербицидом [3–4];  
 Бентазон — контактный гербицид для борьбы с сорными растениями после всходов сорняков [5];  
 Металаксил — системный фунгицид защитного и искореняющего действия для борьбы с болезнями [6];  
 Пропиконазол — используется методом опрыскивания в качестве системного фунгицида с широким спектром действия на посевах зерновых [7];  
 Имидаклоприд — системный инсектицид для борьбы с сосущими насекомыми, включая резистентные виды, с почвенными вредителями [8].



Рис. 1. Циркуляция пестицидов во внешней среде

водит к поступлению в биосферу различных химических веществ, которые могут негативно влиять на окружающую среду (рис. 1). Пестициды могут быть опасными даже при низких концентрациях, так как считается, что эти соединения убивают растения (гербициды), беспозвоночных (инсектициды) или грибки (фунгициды).

В большинстве случаев пестициды попадают в воду при неправильной технологии опрыскивания растений, в результате вымывания из почвы, с талыми и дождевыми водами при смыве с почвенного покрова и растений.

Существует ряд методов и технологий в области природоохранных мероприятий, позволяющих удалять или снижать уровень пестицидов в воде. Авторы статьи считают, что наиболее перспективным является биотехнологический подход — применение для очистки вод искусственно созданных водно-болотных угодий — это технические системы, которые используют природные функции растительности, почвы и организмов [2].

В 2018–2019 гг. в Центре экологических исследований им. Гельмгольца были проведены эксперименты

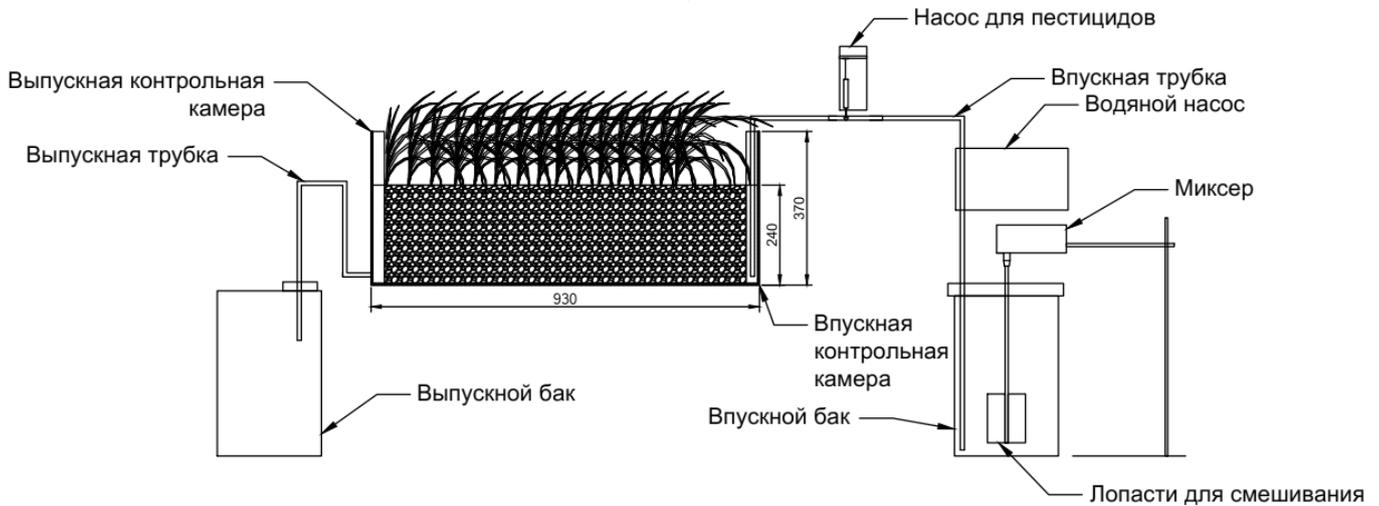


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

по определению очищающей способности водно-болотной растительности от пестицидов.

Для определения степени очистки, загрязнённой пестицидами воды (табл. 1), была создана экспериментальная установка (рис. 2), состоящая из двух параллельных горизонтальных водно-болотных угодий подповерхностного потока, которые используют твердые грунты, засаженные водно-болотной растительностью.

## Материалы и методы

### Исследовательская установка

Экспериментальная установка состоит из 2 параллельных горизонтальных водно-болотных угодий, в которых создается неподвижное ложе с растительностью водно-болотных угодий. Наиболее важные параметры конструкции перечислены в таблице 2. Вода вытекает из впускного бака с помощью водяного насоса. Контрольные камеры устанавливаются в начале и в конце сооружений. В этих камерах можно измерять различные параметры и отбирать пробы для измерений загрязняющих веществ. Уровень твердой среды на заболоченном участке составляет 24 см. Вода удерживается под поверхностью и течет горизонтально от входа до выхода. После прохождения через заболоченную территорию очищенная вода собирается в выходном бассейне. Установка была расположена в лаборатории водно-болотных угодий в Центре экологических исследований им. Гельмгольца — UFZ в условиях контролируемой температуры и освещения.

Установка имеет следующие параметры:

- ♦ Объем (полный/рабочий) — 50/33,5 л;

- ♦ Площадь водно-болотного угодья — 0,1395 м<sup>2</sup>;
- ♦ Объем первичного и конечного бака — 20 л;
- ♦ Расход — 2,39 л/сут.

**Принцип работы установки.** Вода поступает из бака в «водно-болотное угодье» с помощью водяного насоса, уровень грунтов внутри «водно-болотного угодья» составляет 0,24 м. После прохождения заболоченного участка, вода собирается в выпускном баке. В впускном и выпускном баках имеются контрольные камеры, в которых можно наблюдать за состоянием воды и отбирать пробы.

Эксперименты проводились в двух лотках с загрузкой смесью пемзы и вермикулита.

Пемза — это натуральный вулканический горный материал, который имеет высокую пористость и большую площадь поверхности, что ускоряет процесс поглощения. Вермикулит имеет высокие адсорбционные и ионообменные свойства.

В данном исследовании в качестве фиторемидианта использовался канареечник тростниковидный *Phalaris arundinacea*. Данное растение стабильно произрастает в широком диапазоне климатических условий и обладает высокой способностью удалять загрязняющие вещества в своей ризосфере [9–10].

Пестициды добавляли в корм с 27 января по 24 февраля 2019 года с использованием перфузионного насоса 0,5 мг / л. Эта концентрация была выбрана из-за ограниченности анализаторов. Тем не менее, такие высокие концентрации могут также возникнуть в сельскохозяйственном стоке, если пестициды используются чрезмерно.



Рис. 3. Экспериментальная установка



Рис. 4. Пемза



Рис. 5. Вермикулит

Таблица 2. Гидравлический баланс

Обозначение установки	Потери воды, л / м <sup>2</sup> * сут	
	05.10.2018	29.01.2019
В	3,98	9,40
Е	2,45	6,96

Таблица 3. Значения номинального гидравлического времени удержания

Обозначение установки	Среднее HRT, дни
В	10,2
Е	8,9

Таблица 4. Данные о состоянии установок с 1 по 4 недели

Удаление за 1 неделю (% от средней концентрации притока)					
Обозначение установки	Пестицид				
	МСРА	Бентазон	Металаксил	Пропиконазол	Имидаклоприд
В	-	-	-	-	-
Е	-	-	-	-	-
Удаление за 2 неделю (% от средней концентрации притока)					
Обозначение установки	Пестицид				
	МСРА	Бентазон	Металаксил	Пропиконазол	Имидаклоприд
В	12	-24	10	65	5
Е	21	-28	3	30	-3
Удаление за 3 неделю (% от средней концентрации притока)					
Обозначение установки	Пестицид				
	МСРА	Бентазон	Металаксил	Пропиконазол	Имидаклоприд
В	22	-16	21	77	16
Е	36	-22	8	39	6
Удаление за 4 неделю (% от средней концентрации притока)					
Обозначение установки	Пестицид				
	МСРА	Бентазон	Металаксил	Пропиконазол	Имидаклоприд
В	54	52	71	96	71
Е	66	57	58	80	57

#### Аналитические измерения

Пестициды анализировали методом жидкостной хроматографии, масс-спектрометрии (ЖХ–МС) в Норвежском институте биоэкономических исследований. Образцы для анализа пестицидов фильтровали через фильтр 0,45 мкм и хранили в 20% метаноле при –20 °С до анализа.

#### Расчеты

Номинальное гидравлическое время удержания (HVZ) определяется как отношение полезного объема водно-болотных угодий к средней скорости потока.

$$t = (V_w) * \epsilon / Q_{ave} \quad (2.1)$$

Где  $Q_{ave}$  — средняя скорость потока,  $V_w$  — объем водно-болотных угодий,  $\varepsilon$  — пористость водно-болотных угодий.

$$Q_{ave} = \frac{Q_o + Q_e}{2}$$

Где  $Q_o$  — Подводящая скорость,  $Q_e$  — Отводящая скорость.

Коэффициент суммарного испарения рассчитывали как отношение объема сточных вод к объему.

## Результаты

### Ввод реактора в эксплуатацию

С сентября по декабрь был обеспечен рост растений для создания стационарных условий.

В этой таблице показаны потери воды 5 октября и 29 января 2019 года. Понятно, что с ростом растений суммарное испарение воды увеличивается.

Значения HRT (таблица 3) рассчитываются как средние значения за период с 27.12.2018 по 11.02.2019. Это уравнение обычно используется для определения количества сырья, используемого в данном объеме реактора. HRT является важным параметром в очистке сточных вод, напрямую влияющим на требования к проектированию, эксплуатации / инвестициям и энергии. В целом, более высокие HRT приведут к более высоким инвестиционным затратам и пространственным требованиям, но в то же время предложат более высокую эффективность разделения. Следовательно, другая HRT также оказывает значительное влияние на эффективность очистки сточных вод водно-болотных угодий.

### Удаление пестицидов

Данные об удалении пропиконазола в установках В и Е на 4-й неделе так велики, поскольку концентрации

пестицида уже были низкие. Скорее всего, наблюдалась низкая концентрация притока пропиконазола, поскольку сорбция этого гидрофобного соединения уже произошла в резиновой трубке подачи.

Разница между неделями 3 и 4 в том, что система не стабилизировалась. Другое объяснение состоит в том, что расстояние было рассчитано в процентах от измеренных концентраций сточных вод от средних измеренных концентраций сточных вод, в то время как средние концентрации на входе были измерены с высоким стандартным отклонением (30–40%).

Аэробные условия в слоях пемзы/вермикулита обеспечивают более высокое удаление МСРА, бентазона и имидаклоприда.

## Заключение

Проведенный опыт показал, что «водно-болотные угодья» достаточно просты в установке, обслуживании и эксплуатации. Они не требуют постоянного наблюдения, добавления различных реагентов, подключения к системе электроснабжения. Более того, они справляются с различными видами загрязнителей, включая пестициды. Их недостатком можно назвать то, что в рамках проведенного эксперимента они не обеспечили степень очистки, соответствующую требованиям нормативных документов в этой области. Так как эксперимент завершился на четвертой неделе, можно предположить, что с течением времени степень очистки различных пестицидов могла увеличиться. Но тем не менее, по данным за четвертую неделю можно сделать вывод, что очистная установка показала положительную степень удаления всех пяти наименований пестицидов. На основании этого можно сделать вывод, что хотя система не обеспечивает достаточную степень очистки, их использование в районах активного ведения сельского хозяйства может значительно снизить количество загрязнителей, попадающих как в прилегающие реки и водоемы, так и в грунтовые воды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Stottmeister, U., Wießner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Kästner, M., Bederski, O., Müller, R.A., Moormann, H., 2003. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnology Advances* 22, 93–117.
2. Wagner, S., Fantke, P., Theloke, J., Friedrich, R., 2010. Quantification of pesticides used in agriculture in the EU-27. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 12, EGU2010-12273, EGU General Assembly.
3. М-4Х, МСРА. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cnshb.ru/akdil/0034/base/2/000126.shtm> (Дата обращения 15.07.2019 г.).
4. -Chloro-2-methylphenoxy. [Электронный ресурс]. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/mcra> (Дата обращения 15.07.2019 г.).
5. Бентазон. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cnshb.ru/akdil/0034/base/RB/000021.shtm> (Дата обращения 15.07.2019 г.).
6. МЕТАЛАКСИЛ (алацид, апроп, ридомил). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cnshb.ru/akdil/0034/base/RM/000362.shtm> (Дата обращения 15.07.2019 г.).
7. ПРОПИКОНАЗОЛ (десмел, низонит, практик, радар, тилт, трифон). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cnshb.ru/akdil/0034/base/RP/000393.shtm> (Дата обращения 15.07.2019 г.).

8. ИМИДАКЛОПРИД (адмир, гаучо, кофидор, премьер). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cnshb.ru/akdil/0034/base/RI/000545.shtm> (Дата обращения 15.07.2019 г.).
9. *Phalaris arundinacea* L. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.eddmaps.org/ipane/ipanespecies/grass/phalaris\\_arundinacea.htm](https://www.eddmaps.org/ipane/ipanespecies/grass/phalaris_arundinacea.htm) (Дата обращения 15.07.2019 г.).
10. Жуков Б. Д. Экологическое домостроение. Устройства и технологии децентрализованной очистки бытовых сточных вод: Аналит. обзор / СО РАН. ГПНТБ. — Новосибирск, 1999. — 113 с.

© Бутковский Андрей, Ахмедова Наталья Равиловна,  
Шерман Никита Алексеевич ( [nik172008@mail.ru](mailto:nik172008@mail.ru) ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Г. Калининград

# АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СОСТОЯНИЕ ИНТРОДУЦИРОВАННОГО ВИДА ЕЛИ НА ТЕРРИТОРИИ ЕЛИЗОВСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА КАМЧАТСКОГО КРАЯ

## ABIOTIC FACTORS AFFECTING CONDITION INTRODUCED SPIRIT ON THE TERRITORY OF YELIZOVSKY FORESTRY KAMCHATSKY REGION

*G. Doronina*

*Summary.* The aim of the study is to determine the influence of abiotic factors on the state of the introduced species of Siberian Spruce (*Picea obovata*) on the territory of the Elizovsky forestry of the Kamchatka Territory. The article identifies abiotic factors that have a direct impact on the ecological state of the introduced species of Siberian Spruce (*Picea obovata*) on the territory of the Elizovsky forestry of the Kamchatka Territory. The scientific novelty of the study lies in the development of recommendations for taking into account abiotic factors when carrying out reforestation work on the territory of the Elizovsky forestry of the Kamchatka Territory. As a result, the critical influence of the height of the snow cover on the state of introduced species of Siberian Spruce (*Picea obovata*) was established.

*Keywords:* spruce, growth, snow cover, state of the stand, fruiting.

**Доронина Галина Сергеевна**

Аспирант, Камчатский государственный  
технический университет, г. Петропавловск-  
Камчатский  
galserdor@gmail.com

*Аннотация.* Цель исследования — определить влияния абиотических факторов на состояние интродуцированного вида Ели Сибирской (*Picea obovata*) на территории Елизовского лесничества Камчатского края. В статье выявлены абиотические факторы, оказывающие непосредственное влияние на экологическое состояние интродуцированного вида Ели Сибирской (*Picea obovata*) на территории Елизовского лесничества Камчатского края. Научная новизна исследования заключается в разработке рекомендаций по учету абиотических факторов при проведении лесовосстановительных работ на территории Елизовского лесничества Камчатского края. В результате установлено критическое влияние высоты снежного покрова на состояние интродуцентов Ели Сибирской (*Picea obovata*).

*Ключевые слова:* ель, прирост, снежный покров, состояние древостоя, плодоношение.

## Введение

**В**о второй половине 20 века перед лесным хозяйством СССР ставились задачи по повышению качественного состава и продуктивности лесов. Для решения этой задачи особое место отводилось интродукции ценных и быстрорастущих деревьев.

Основываясь на мнении, что лесные культуры древесных экзотов значительно превосходят местные породы по продуктивности, иногда превышая запасы наиболее продуктивных местных пород даже в северных и центральных районах страны в 1,5–2 раза [1, с. 3], на всей территории страны вводились в лесные культуры интродуценты различных древесных пород. На территорию Камчатского края (Камчатской области) в различные годы были интродуцированы следующие древесные породы: сосна, ель сибирская, ель колючая (голубая), сосна кедровая (корейская). Однако, в связи с неоднократным реформированием структуры органов лесного хозяйства в Российской Федерации, в том числе и на территории Камчатского края, оценка эко-

логического состояния интродуцированных видов на современном этапе ранее не проводилась. Таким образом тема является актуальной для определения целесообразности проведения интродукции Ели Сибирской (*Picea obovata*) на территории Камчатского края.

## Цель исследования

Определение влияния абиотических факторов на состояние интродуцированного вида Ели Сибирской (*Picea obovata*) на территории Елизовского лесничества Камчатского края.

## Объекты и методы исследования

Исследования проводились в период с 2018 по 2020 г. на территории Елизовского лесничества Камчатского края на двух лесных участках площадью по 0,5 га. Объектом исследования являлись одновозрастные культуры Ели сибирской (*Picea obovata*), год закладки лесных культур — 1991. Методической основой проведения на-

Таблица 1. Климатические условия района исследования

№ п/п	Климатические условия	Расчетные величины	
		2 пробная площадка	1 пробная площадка
1	Район по ветру 25 летней повторяемости	VI	VI
2	Нормативное ветровое давление, кПа	0,73 (VI район)	0,73 (VI район)
3	Минимальная температура воздуха, 0С	-32	-32
4	Расчетная температура воздуха наиболее холодной пятидневки, 0С	-18 -19	-18 -19
5	Среднегодовая температура воздуха, 0С	1,1	1,1
6	Высота снежного покрова, макс/средняя, см	281/167	450/300
7	Преобладающее направление ветра	СЗ	СВ
8	Расчетная температура самых холодных суток, 0С	-22 -20	-22 -20
9	Вес снегового покрова, кПа	5,6 (VIII район)	6,7(VIII район)
10	Сейсмичность района, баллы	9	9
11	С Максимальный порыв ветра, м/с	35	40
12	Радиационный фон, мкР/час	12	10

учно- исследовательских работ являлась «Методология исследований лесных экосистем» [3].

### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведения исследования были заложены две пробные площади: в выделе 6 квартала 20 Южного участка лесничества и в выделе 19 кв 28 Петропавловского участка лесничества Елизовского лесничества. Лесные культуры были созданы в 1991 способом посадки 2 летних сеянцев. В ходе проведения оценки экологического состояния данных лесных культур было установлено, что деревья на второй пробной площади вступили в фазу плодоношения. Наличие шишек или плодов свидетельствует о вступлении отдельных деревьев или всего древостоя в возраст репродукции, о достижении ими физиологической зрелости. На первой пробной площади деревья находятся в угнетенном состоянии, высота ствола достигают максимальной высоты не более 80 см, отмечена многовершинность, 70% деревьев приобретают стланиковую форму. Возникает необходимость определить, какие именно факторы оказывают негативное воздействие на древостой и учитывать их при проведении лесовосстановительных работ в дальнейшем. Были рассмотрены следующие абиотические факторы.

По схеме физико-географического районирования Севера Дальнего Востока район исследования находится в южной части складчато-вулканической тундрово-лесной области Восточной Камчатки, в северной части Южного вулканического нагорья полуострова Камчатка, на восточной окраине Охотской континентальной плиты

в 220 км к северо-западу от Курило-Камчатского желоба, по которому проводится граница континентальной плиты с погружающейся под неё Тихоокеанской плитой. По данным зоне субдукции плит соответствует сейсмофокальная зона, погружающаяся под континентальную плиту под углом 57°.

Климат района исследования находится под влиянием Тихого океана и Охотского моря, для которого характерна активная циклоническая деятельность. По схеме климатического районирования Камчатки район исследования располагается в климатическом районе Авачинской низменности, которая входит в состав Восточной приморской подобласти. Климат района строительства насосной станции морской, влажный, с умеренно холодной, снежной, продолжительной (ноябрь-апрель) зимой и коротким (июль-сентябрь), умеренно теплым, влажным, дождливым летом.

Среднегодовая температура воздуха плюс 1,1 0С. Самый холодный месяц в году январь со среднемесячной температурой минус 10,5 0С. Наиболее теплым месяцем является август со среднемесячной температурой плюс 13,2 0С. Экстремальные значения температуры установлены в 1959 г.: абсолютный минимум минус 32 0С, абсолютный максимум — плюс 32 0С. Устойчивые морозы наступают во второй декаде ноября и сохраняются до начала апреля. Средняя продолжительность безморозного периода 190 дней. Средняя продолжительность отопительного периода (периода со среднесуточной температурой воздуха ниже плюс 8 0С) — 257 дней. Глубина промерзания грунта под снегом не превышает 50 см, а на оголенных поверхностях колеблется от 133–

162 см на глинистых грунтах до 174–197 см на песках и крупнообломочных грунтах.

Среднегодовое количество осадков 900 мм/год, в т.ч. около 55% в виде дождя. Снежный покров начинает формироваться во второй половине октября. Средняя многолетняя дата образования устойчивого снежного покрова — 1 ноября, а схода — 13 мая. Продолжительность залегания снежного покрова 174–194 дня. Наибольший рост высоты снежного покрова происходит в декабре-январе, а в конце марта — первой половине апреля он достигает максимальной высоты. Средняя высота снежного покрова 167 см, а максимальная в районе п. Паратунка 281 см. К концу мая снег полностью тает.

В течение года, особенно зимой преобладают ветры западного и юго-западного направлений (49%) и только летом чаще бывают ветры восточных румбов. Среднегодовая скорость ветра 1,9 м/с. Среднее среднегодовое число дней с сильным ветром (более 15 м/с) составляет 17,9 дня, а максимальное — 50 дней. Максимальные порывы ветра достигают 35 м/с.

В году в среднем бывает: 5–11 дней с метелями, 20–33 дня с туманами, 2 дня с гололедом, 14–41 день с изморозью,

14–42 дня с обледенением всех видов, 2 дня с грозами, до 2 дней с градом.

К опасным явлениям погоды относятся: ураганные ветры, аномально-холодная погода, очень сильные осадки, сильные и продолжительные метели.

В природных ландшафтах района исследования развиты вулканогенные охристые супесчаные почвы (мощностью 0,3 м), на которых произрастают каменноберезовые леса. Состав почвенного покрова одинаковый для обеих пробных площадей.

Климатические данные приведены в таблице.

### Заключение

В ходе проведенного исследования можно сделать вывод, что на экологическое состояние интродуцированного вида Ели сибирской на территории Елизовского лесничества Камчатского края определяющее значение имеет высота снежного покрова как главный абиотический фактор. При дальнейшем выборе площадей лесовосстановления под посадки елей необходимо учитывать высоту снежного покрова.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лапин П. И., Калуцкий К. К., Калуцкая О. Н. Интродукция лесных пород. — М.: Лесн. пром-сть, 1979. — 224 с.
2. Книга учета лесных культур на территории Елизовского мехлесхоза Камчатского управления лесами, 1980–1995 г.
3. Методология исследований лесных экосистем: Методическое пособие/Сост. Е. Н. Пилипко. — Вологда-Молочное: ИЦ ВГМХА, 2013. — 103 с.

© Доронина Галина Сергеевна ( galserdor@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСОПАРКА «КУСКОВО» Г. МОСКВЫ ПО ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ ЛИСТЬЕВ КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL  
STATE OF THE KUSKOVO FOREST PARK  
IN MOSCOW BASED ON THE  
FLUCTUATING ASYMMETRY OF THE  
LEAVES OF THE HOLLY MAPLE

*E. Makarova  
E. Grinko*

*Summary.* This article discusses one of the methods of biological indication of the environment by fluctuating asymmetry of leaves. The results of statistical processing of leaf plates of acorn maple (*Acer platanoides* L.) are presented and the state of the natural environment of the Kuskovo forest Park in Moscow is assessed.

*Keywords:* bioindication, fluctuating asymmetry method, environment, holly maple.

**Макарова Елена Александровна**

*К.б.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени им. К. И. Скрябина  
lelemakarov@mail.ru*

**Гринько Екатерина Константиновна**

*Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени им. К. И. Скрябина*

*Аннотация.* В данной статье рассматривается один из методов биологической индикации окружающей среды по флуктуирующей асимметрии листьев. Представлены результаты статистической обработки листовых пластин клена остролистного (*Acer platanoides* L.) и проведена оценка состояния окружающей природной среды лесопарка «Кусково» г. Москвы.

*Ключевые слова:* биоиндикация, метод флуктуирующей асимметрии, окружающая среда, клен остролистный.

**В**озрастание антропогенной (техногенной) нагрузки в крупных городах приводит к негативным изменениям в структуре, продуктивности и функциональным нарушениям экосистем: уменьшается численность видов растений и животных, приводящая к снижению биоразнообразия в целом, нарушаются природные ландшафты и гидрологический режим местности, развивается эрозия почв. Мониторинг уровня загрязнения и ответной реакции биологических объектов на внешнее воздействие приобретает огромное значение.

Все более усиливающаяся техногенная нагрузка на окружающую природную среду приводит к появлению новых параметров среды, а также, обуславливает антропогенную модификацию имеющихся природных факторов, а, следовательно, и изменение свойств биологических систем. Биологическая индикация позволяет получить информацию о реакциях организмов на стрессорные факторы и дает возможность проследить последствия антропогенного воздействия на окружающую среду и глубину изменений происходящих на уровне экосистем. Живые организмы реагируют на изменение условий среды, в том числе и неблагоприятных, изме-

нением своего состояния, поведения или определенными действиями. Организмы способны к преодолению неблагоприятных воздействий двумя путями: избегать такого воздействия или приобретать выносливость. Так как, растения лишены возможности избежать негативных факторов, основной стратегией их жизни является адаптация к неблагоприятным условиям за счет выработки различных приспособлений проявляющихся в изменении процессов жизнедеятельности, изменения строения и др. [6].

Флуктуирующая асимметрия есть проявление индивидуальной изменчивости, которая отражает различия между гомологичными структурами внутри одного индивида. Такой тип изменчивости характерен для растений, когда в пределах одного индивида, можно провести комплексный анализ метамерных структур, при этом наиболее часто используют листовые пластины. Так как уровень флуктуирующей асимметрии есть характеристика индивидуума, следовательно, можно оценить различие разных групп особей по среднему уровню асимметрии между сторонами, и тогда флуктуирующая асимметрия может рассматриваться и с позиции надвидовой (популяционной) изменчивости [3].

На данный момент оценка экологического состояния городских лесопарковых территорий является важным показателем, дающим возможность определить уровень антропогенных воздействий на экосистемы парков и приблизительно определить степень их нарушенности на исследуемой территории.

Одна из известных методик, позволяющих определить экологическое состояние территорий по асимметрии листьев растений — методика А. С. Боголюбова [1]. В основу данной методики положена теория о том, что различие между левой и правой половинами листовой пластины коррелирует со степенью общей нарушенности окружающей среды. Такая методика может быть использована для оценки экологического состояния территории по интегральным характеристикам асимметрии листьев деревьев [1].

Целью работы является оценка экологического состояния лесопарковой зоны «Кусково» и обнаружение изменений морфогенетических процессов на примере показателей флуктуирующей асимметрии листьев клена остролистного (*Acer platanoides*), в норме обладающих билатеральной симметрией.

Для исследования был выбран участок ВАО города Москвы — лесопарк «Кусково» который занимает площадь чуть более 300 га и находится в пределах Мещёрской низменности, являясь частью района Вешняки Восточного административного округа города. Основная часть насаждений лесопарка представлена березняками, значительная площадь занята старыми разреженными дубами и липами, часто встречаются клены, ели и лиственница. В лесопарке «Кусково» произрастают редкие для столицы растения, занесенный в Красную книгу Москвы, обитает 7 видов млекопитающих и более 60 видов птиц.

Основными источниками антропогенного воздействия на территории природного комплекса представляющими определенную экологическую опасность являются выбросы автомобильного транспорта по ближайшим улицам: Оранжевой, Вешняковской, ул. Первой Маёвки, Рассветной, 1-му Дворцовому проезду и Аллее Жемчужовой. Кроме этого, техногенное воздействие также оказывают предприятие дорожно-эксплуатационного комплекса по обслуживанию 3-го транспортного кольца, база хранения реагентов ВАО, складская база вторсырья. Источниками антропогенного воздействия на лесопарковую зону являются различные промышленно-коммунальные объекты (автозаправочные станции, автомойки, автостоянки, гаражи, железная дорога и др.), расположенные на прилегающих к лесопарковой зоне территориях.

Для сбора материала были выбраны три участка лесопарка «Кусково». Первый находится на окраине

парка, у выхода с платформы Плющево, где проходит магистральная улица общегородского значения Северо-Восточная хорда и железнодорожные пути. Здесь постоянный шум от проезжающего автомобильного транспорта и проходящих поездов ближнего и дальнего следования. Отчетливо ощущается запах канализации. В пределах видимости находится ТЭЦ-11.

Второй участок расположен в глубине парка на расстоянии 700 метров по диагонали от первого. Характеризуется отсутствием дорог в зоне видимости и других антропогенных объектов способных загрязнять природную среду.

Третий находится в глубине парка, в 660 м от второго участка, в 330 м от Большого Дворцового пруда. Здесь также отсутствуют техногенные объекты, достаточно тихо, не слышно дорожного шума и посторонних запахов.

На каждом из выбранных участков были собраны листья клена остролистного с трех деревьев, расположенных друг от друга в 100 м, по десять листьев с каждого, т.е. всего 30 листьев с одной площадки.

Собирали листья на каждом опытном участке из средней части кроны каждого дерева, на уровне поднятой руки, с доступных веток, примерно одного, среднего размера.

С каждого листа были сняты показатели по четырем параметрам с левой и правой стороны листа:

- 1 — ширина половинки листа. Для измерения лист складывают поперек пополам, прикладывая макушку листа к основанию, потом разгибают и по образовавшейся складке производят измерения;
- 2 — длина второй жилки второго порядка от основания листа;
- 3 — расстояния между концами первой и второй жилки;
- 4 — угол между главной жилкой и второй от основания жилки первого порядка.

Величину асимметричности оценивали при помощи интегрального показателя величины среднего относительного различия на признак (средняя арифметическая отношения разности к сумме промеров листа слева и справа, отнесенная к числу признаков). Относительную величину между значениями признака с каждой из сторон ( $Y$ ) находили применяя формулу:  $Y = (X_l - X_n) / (X_l + X_n)$ , а среднее относительное различие между сторонами в соотношении к признаку каждого листа рассчитывали: ( $Z$ ) —  $Z = (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) / N$ , где  $N$  — число признаков.

Среднее относительное различие, деленное на признак для всей выборки ( $X$ ), вычисляли используя форму-

Таблица 1. Шкала отклонения от нормы

Баллы	Значение показателя асимметричности	Экологическое состояние
1 балл	< 0,015	Условная норма
2 балла	0,016–0,025	Начальные незначительные отклонения
3 балла	0,026–0,035	Начальные значительные отклонения
4 балла	0,036–0,045	Начальное критическое состояние
5 балла	0,046–0,055	Критическое состояние

Таблица 2. Флуктуирующая асимметрия листовой пластины клена остролистного.

Участок	Показатель асимметричности клена остролистного	Баллы
1	0,067188	5
2	0,02557	3
3	0,01656	2

лу:  $X=Z/n = (Z1 + Z2 + \dots + Zn)/n$ , где  $n$  — число значений  $Z$  (число листьев). Обработка результатов проводилась при помощи таблиц Microsoft Office Excel.

Полученные в результате расчетов показатели характеризуют степень асимметричности и для этого показателя существует разработанная пятибалльная шкала отклонения от нормы [3], в которой каждый балл характеризует экологическое состояние организма (1 балл считается условной нормой, а 5 баллов свидетельствует о критическом состоянии).

В результате проведенного исследования был произведен расчет и оценка различных морфологических показателей листьев клена остролистного (*Acer platanoides* L.).

Анализируя полученные данные по относительному различию между значениями признака слева и справа ( $Y$ ) для каждого показателя, высоким значением различия в ширине половинок листа (1 признак) обладают клены первого участка (0,159), значительно ниже этот показатель на третьем участке (0,084). Различия в длине 2-й жилки (2 признак) изменялись в пределах от 0,037 (первом участке) до 0,018 (второй участок). При измерении расстояния между концами 1-й и 2-й жилок (3 признак) выявлено, что разница в значениях этих показателе проявлялась у листьев с первого и третьего участков и составляла 0,121 и -0,018 соответственно. Угол между центральной и 2-й жилкой первого порядка (4 признак) колебался в интервале от 0,0361 (первый участок) до 0,008 (третий участок).

По полученным данным была составлена таблица 2 — флуктуирующей асимметрии клена остролистного

на исследуемых участках и графическое изображение распределения данного показателя в зависимости от удаленности антропогенных объектов.

Условной нормой можно считать показатель меньше, чем 0,015. Таким образом, на всех исследуемых участках показатель отклоняется от условной нормы, а на первом участке характеризуется критическими значениями отклонения.

На втором участке этот показатель равен 3 баллам, что соответствует начальным значительным отклонениям, а на третьем равен 2 баллам, что характеризуется как начальные незначительные отклонения. Таким образом четко прослеживается зависимость между степенью асимметрии листьев клена остролистного и удаленностью деревьев от антропогенных загрязнителей среды (рис 1).

Из рисунка видно, что с продвижением вглубь парка, негативное влияние этих загрязнителей ослабевают, но тем не менее можно говорить о высокой степени загрязненности исследуемой территории лесопарка. Показатели флуктуирующей асимметрии, отражающие экологическое состояние деревьев, в том числе и кленов, в лесопарковой зоне, варьируют в пределах от — 0,067 до 0,016 и превышают условную норму (<0,015) на всех исследуемых участках лесопарка.

Таким образом, оценка состояния окружающей среды с использованием методов биоиндикации и, в том числе, флуктуирующей асимметрии листьев дает возможность оценить влияние антропогенной нагрузки на живые организмы и сделать выводы о зависимости уровня загрязнения и нарушенности экосистем лесопарковых зон города.

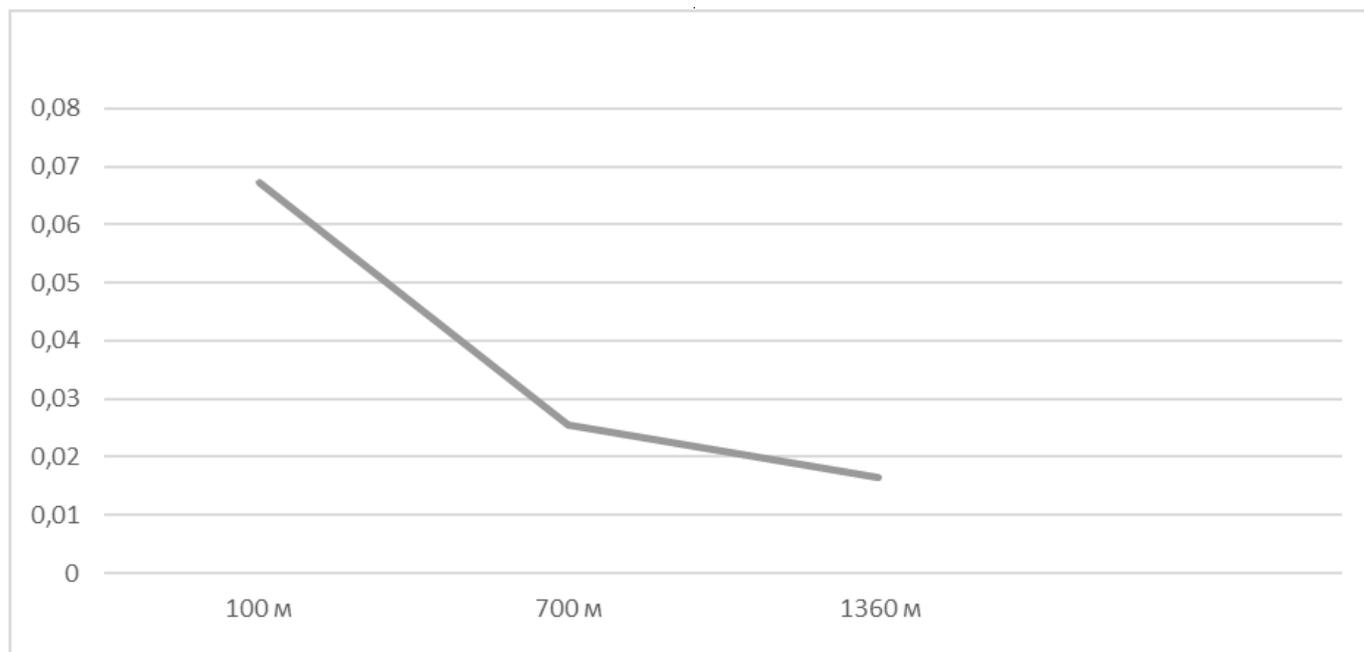


Рис. 1. Степень асимметрии листьев клена остролистного (*Acer platanoides* L.) и удаленность от антропогенных объектов

Детальный анализ влияния антропогенных стрессовых факторов и, в первую очередь, таких, как выхлопные газы автомобильного транспорта и большая выборка листьев клена, собранных в различных парках города

позволит провести более глубокий анализ благополучия городских экосистем, составить корреляционные связи между уровнями загрязненности улиц вокруг лесопарковых зон города и флуктуирующей симметрией листьев.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Боголюбов А. С. Оценка экологического состояния леса по асимметрии листьев / А. С. Боголюбов. — М.: Экосистема, 2002. — 10 с.
2. Вайнерт Э. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Э. Вайнерт, Р. Вальтер, Т. Ветцель. и др.; Под ред. Р. Шуберта; Пер. с нем. Г. И. Лойдиной, В. А. Турчаниновой; Под ред. Д. А. Криволицкого. — М.: Мир, 1988. — 348 с.
3. Захаров В. М. Здоровье среды: методика оценки / В. М. Захаров, Ю. А. Буйлов, М. В. Кравченко. — М.: Центр экологической политики России, 2000—68 с.
4. Захаров В. М. Онтогенез и популяция (стабильность развития и популяционная изменчивость) / В. М. Захаров // Экология. — Екатеринбург, 2002. — № 3 — С. 164—168.
5. Ломсков М. А., Таратоненкова М. А. Исследование состояния древостоя на модельных площадках парка Царицыно с помощью метода флуктуирующей асимметрии / Рост и воспроизводство научных кадров в АПК. Сборник трудов по итогам Российской национальной научно-практической интернет-конференции для обучающихся и молодых ученых. Под общей редакцией Н. Н. Бессчетновой. 2020. С. 150—154.
6. Ляшенко О. А., Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды: учебное пособие / О. А. Ляшенко — СПб ГТУРП. — СПб, 2012. — 67 с.
7. Макарова Е. А., Гринько Е. К. Флуктуирующая асимметрия листьев как метод биоиндикации для определения уровня загрязнения среды // Проблемы зоокультуры и экологии. Вып. 3. — М.: ГАУ «Московский зоопарк»; ЕАРАЗА; СОЗАР: Изд. «ЗооВетКнига», 2019. — 191—195 с.
8. Мелькумов Г. М., Волков Д. Э. Флуктуирующая асимметрия листовых пластинок клена остролистного (*Acer platanoides* L.) как тест экологического состояния паркоценозов городской зоны. // Журнал Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. — Воронеж, 2014, № 3, 95—98 с.

© Макарова Елена Александровна (lelemaarov@mail.ru), Гринько Екатерина Константиновна.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МОДЕЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РОСТОМ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ СЕТИ ЛОКАЛЬНОГО СООБЩЕСТВА С АВТОНОМИЗИРОВАННЫМИ ФИНАНСАМИ<sup>1</sup>

## MODEL GROWTH MANAGEMENT OF THE LOCAL COMMUNITY ENTREPRENEURIAL NETWORK WITH AUTONOMOUS FINANCE

**A. Apanasenko  
A. Panachev  
D. Berg**

*Summary.* The article describes a hybrid model of the local community entrepreneurial network and simulation experiment conducted using it. The model is implemented in the Anylogic modeling environment and contains control parameters. Ones allow setting the conditions for an experiment: network expansion and surplus capital use strategies, use of internal money. This makes it an important tool for experimental research on the development of local communities with autonomous finance. The experimental results analysis facilitates the management decisions making regarding the development of local entrepreneurial communities economy.

*Keywords:* model management, simulation experiment, system dynamics, agent-based modeling, hybrid model, entrepreneurial networks, local community, autonomous finance, additional means of payment.

**Апанасенко Анастасия Владимировна**

Аспирант, Уральский федеральный университет  
им. Первого президента России Б. Н. Ельцина  
(г. Екатеринбург)  
stacy-chan@yandex.ru

**Паначев Антон Анатольевич**

Аспирант, Уральский федеральный университет  
им. Первого президента России Б. Н. Ельцина  
(г. Екатеринбург)

**Берг Дмитрий Борисович**

Д.ф.-м.н., профессор, Уральский федеральный  
университет им. Первого президента  
России Б. Н. Ельцина (г. Екатеринбург)

*Аннотация.* В статье описаны гибридная модель предпринимательской сети локального сообщества и имитационный эксперимент, проведенный с её помощью. Модель реализована в среде моделирования Anylogic и содержит управляющие параметры, позволяющие настроить условия эксперимента: стратегии расширения сети, применение излишков капитала, использование внутренних денег. Это делает её важным инструментом экспериментального исследования развития местных сообществ с автономизированными финансами. Анализ результатов эксперимента облегчает принятие управленческих решений по развитию экономики местных предпринимательских сообществ.

*Ключевые слова:* модельное управление, имитационный эксперимент, системная динамика, агентное моделирование, гибридная модель, предпринимательские сети, локальное сообщество, автономизированные финансы, дополнительные средства расчётов.

## Введение

**О**бъектом данного исследования является предпринимательская сеть локального сообщества. Предпринимательская сеть — это несколько предприятий, объединённых общими целями и использующих общие ресурсы. Особенность деятельности такого объединения — направленность на успешность не только отдельных участников, но и сети в целом [1]. Одна из основных проблем, с которыми сталкиваются

местные сообщества — недостаток или неравномерное распределение финансирования [2]. Взаимозависимость предприятий, объединённых в предпринимательскую сеть, усугубляет негативное влияние этого фактора.

Способом преодоления этой проблемы может стать формирование финансовой автономии локального сообщества. Под финансовой автономией местных сообществ понимается определенный действующим законодательством набор прав граждан, проживающих

<sup>1</sup> Настоящее исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 19–010–00974 «Экспериментальные институциональные модели автономизации финансов местных сообществ в условиях снижения доверия населения к участию в бюджетном процессе».

на конкретной территории, позволяющий последним самостоятельно обеспечивать формирование местных бюджетов, их эффективное распределение и использование [5]. В данной работе рассматривается технологическое направление автономизации финансов — создание и использование локальным сообществом дополнительного средства расчётов.

Предпринимательская сеть — пример сложной экономической системы. Такие системы с трудом поддаются изучению из-за большого количества элементов, связей между ними и трудно предсказуемым эффектам, порождаемым ими. Это объясняет сложность проведения эксперимента. С одной стороны, он необходим для эмпирического подтверждения принятия решений в рамках научного подхода к управлению. С другой стороны, финансовые и трудовые затраты на его проведение могут быть неоправданно высоки. Либо проведение эксперимента, охватывающего, если не всю систему, то хотя бы её часть, совсем не представляется возможным [4].

Именно потенциальная возможность проводить эксперименты без ограничений для проверки самых смелых гипотез подтолкнуло авторов к созданию компьютерной имитационной модели локальной предпринимательской сети.

Модель локальной предпринимательской сети представляет собой гибридную имитационную модель, совмещающую два подхода: агентный и системно-динамический [3, 6]. По подходам к моделированию её можно разделить на уровни. Внешний уровень — агентная модель. Сеть представлена как популяция агентов, каждый из которых — сетевой партнёр. Внутренний уровень — системная динамика, отражающая финансовые потоки предприятия-участника сети.

Основными исходными данными для модели выступает матрица денежных транзакций предприятий муниципалитета за месяц. Числа выражены в тысячах денежных единиц, эта единица измерения применяется для всех финансовых показателей модели. Матрица состоит из 47 элементов и включает только предприятия, образующие замкнутые контуры. Она была сбалансирована добавлением 48 элемента — домохозяйств. Предполагается, что домохозяйства являются полноправными участниками предпринимательской сети, потребляя продукцию других партнёров и представляя важный ресурс — рабочую силу. Полученные данные были приняты за плановые показатели работы сети, на основе которых рассчитываются фактические показатели.

Также существенными данными для функционирования модели являются начальный капитал каждого пред-

приятия. Этот показатель был определён по отрасли, к которой относится участник сети. Кроме того, по данным имеющейся матрицы было рассчитано количество связей каждого сетевого партнёра. Сортировка по этим двум показателям позволила получить два набора данных. В одном участники сети отсортированы от самых дешёвых (по стоимости присоединения к сети) к более дорогим. В другом — от самых значительных (по количеству связей) к менее значительным.

### Гибридная имитационная модель в Anylogic

Гибридная имитационная модель реализована в среде моделирования Anylogic. На первом экране (запуск моделирования) находятся элементы управления для настройки управляющих параметров модели:

1. Стратегия расширения сети (Growth Method) — определяет, в каком порядке к сети будут присоединяться новые участники. Именно этот параметр указывает на то, с какого из двух листов будут считываться данные для моделирования.
2. Стратегия применения излишков капитала (Capital Use) — позволяет выбрать, для чего будут использованы излишки капитала. Излишками считаем объём денежных средств, который предприятие получило за плановый период сверх плановых показателей. Они могут быть использованы на присоединение к сети новых агентов или на пополнение капитала тех участников сети, чьи затраты превысили доходы.
3. Использование внутренних денег (insideMoneyUse) — включает использование внутренних денег — виртуальных единиц расчёта, которые выступают в качестве средства обмена между участниками сети в случае недостатка или отсутствия у них реальных денежных средств [7].

На втором экране (агентный уровень) визуализирована предпринимательская сеть в виде графа, вершины которого — участники сети. Цвет их пиктограмм отражает состояние предприятия (красный — убыточное, желтый — среднее, зелёный — успешное). Такое цветовое кодирование позволяет визуально отразить общее состояние сети, уровень успешности каждого сетевого партнёра и их изменения в динамике.

На этом же экране расположены итоговые показатели, отражающие состояние системы:

- ◆ среднее (aveConnectCount) и общее (sumConnectCount) количество связей агентов;
- ◆ средний капитал агентов (aveCapital);
- ◆ общий денежный оборот сети (sumMoneyTurnover);
- ◆ общие излишки капитала (sumCapitalSurplus);

$$r = \frac{\text{sumState}}{\text{delSumState}} \tag{1}$$

$$\text{capital} \frac{d}{dt} = \text{receivedMoney} - \text{paidMoney} \tag{2}$$

$$\text{capitalSurplus} \frac{d}{dt} = \text{moneySurplus} \tag{3}$$

$$\text{moneySurplus} = \begin{cases} \text{capital} > \text{startCapital}, \text{capital} - \text{startCapital}, \\ \text{иначе } 0 \end{cases} \tag{4}$$

$$\text{moneyTurnover} \frac{d}{dt} = \text{abs}(\text{paidMoney}) \tag{5}$$

- ◆ суммарное количество использованных внутренних денег (sumInsideMoney);
- ◆ количество агентов всего (entCount) и в нормальном, т.е. не убыточном, состоянии (sumState).

Ещё один итоговый показатель —  $r$  — коэффициент, отражающий прирост жизнеспособности предпринимательской сети (1).

где sumState — количество агентов в нормальном (не убыточном) состоянии на текущем шаге,  
delSumState — количество агентов в нормальном состоянии на предыдущем шаге.

Все перечисленные итоговые показатели находятся в прямой зависимости от состояния моделируемой предпринимательской сети. Чем выше их значения, тем более успешным можно считать её функционирование. Единственное исключение — sumMoneyTurnover. Большой оборот сети может свидетельствовать как об активности денежного обмена, так и о значительных суммах долга участников сети.

Также на этом экране расположены графики некоторых итоговых показателей, которые будут подробнее описаны при фиксации результатов имитационного эксперимента.

По клику на пиктограмму агента происходит переход на третий экран (уровень системной динамики). Внутри каждого агента находится совокупность системно-динамических переменных и связей между ними. Основанные системно-динамические переменные модели:

1. Капитал предприятия (capital). Уровень системной динамики, начальное значение которого равно Java-переменной startCapital, а его уравнение имеет вид (2), где receivedMoney — полученные средства, поток системной динамики,  
paidMoney — выплаченные средства, поток системной динамики.

Данные для системно-динамического моделирования денежных потоков предприятия генерируются на основе плановых значений с помощью генерации случайных чисел по закону равномерного распределения.

2. Излишки капитала (capitalSurplus) — общая сумма средств, потраченных на поддержку проблемных предприятий из фонда предпринимательской сети, уровень системной динамики (3), где moneySurplus — средства, потраченные на поддержку проблемных предприятий из фонда предпринимательской сети, поток системной динамики (4).

3. Общий оборот денежных средств агента (moneyTurnover), уровень системной динамики (5).

Сможет ли участник сети произвести расчёты с партнёрами, зависит от его состояния на конкретном шаге моделирования. Переходы из одного состояния в другое реализованы через диаграмму состояний Anylogic. А взаиморасчёты между агентами — в виде передачи сообщений между агентами. Для этого сначала создаются связи между агентами, а после по ним происходит передача сообщений, содержащих суммы платежей.

Таблица 1. Значения управляющих параметров по прогонам

Параметр	Прогон 1	Прогон 2	Прогон 3
growthMethod	Cheap First	Big First	Big First
capitalUse	to Add	to Replenish	to Add
insideMoneyUse	false	false	true

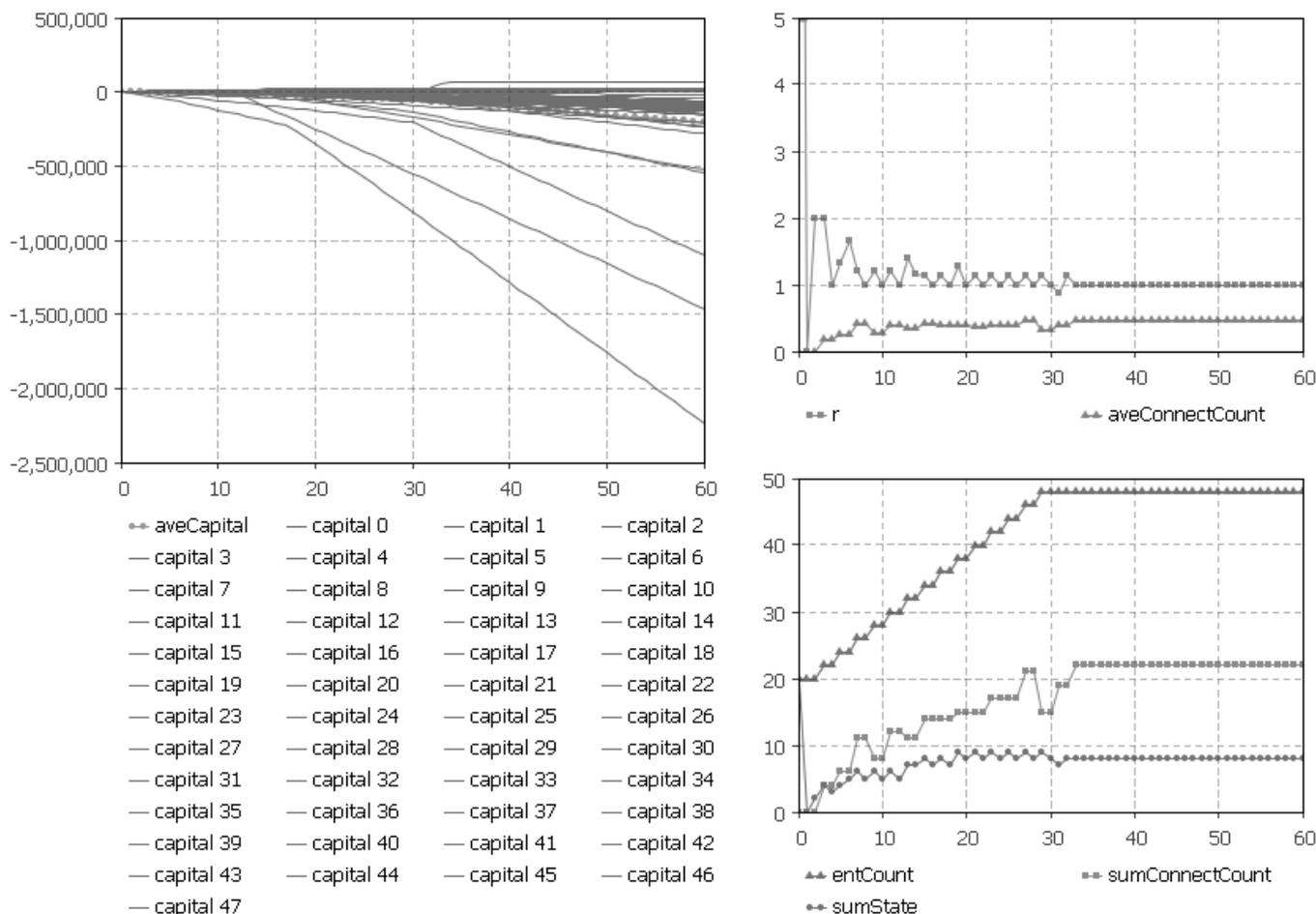


Рис. 1. Графики основных итоговых показателей прогона 1

### Проведение компьютерного имитационного эксперимента

С помощью разработанной модели был проведен компьютерный имитационный эксперимент. Его целью было проверить влияние на состояние локальной предпринимательской сети различных стратегий управления (способа расширения сети, использования излишков капитала) и автономизации финансов (введения внутренних денег). Для этого в среде имитационного моделирования Anylogic последовательно осуществлялись прогоны модели с различными комбинациями управляющих параметров (таблица 1). Шаг моделирования составляет 1 месяц, длительность шага — 1 единица мо-

дельного времени, время одного прогона — 60 шагов (5 лет).

На рисунках 1–3 приведены графики уровней капитала всех агентов модели. Расположенные на одном графике они дают общее представление об успешности предприятий сети. Значения основных результирующих переменных представлены рядом на соответствующих графиках:

Видно, что в первом случае значение capital некоторых участников сети опускаются сильно ниже нуля и постепенно таких становится всё больше. Применение излишек капитала на поддержку проблемных участников

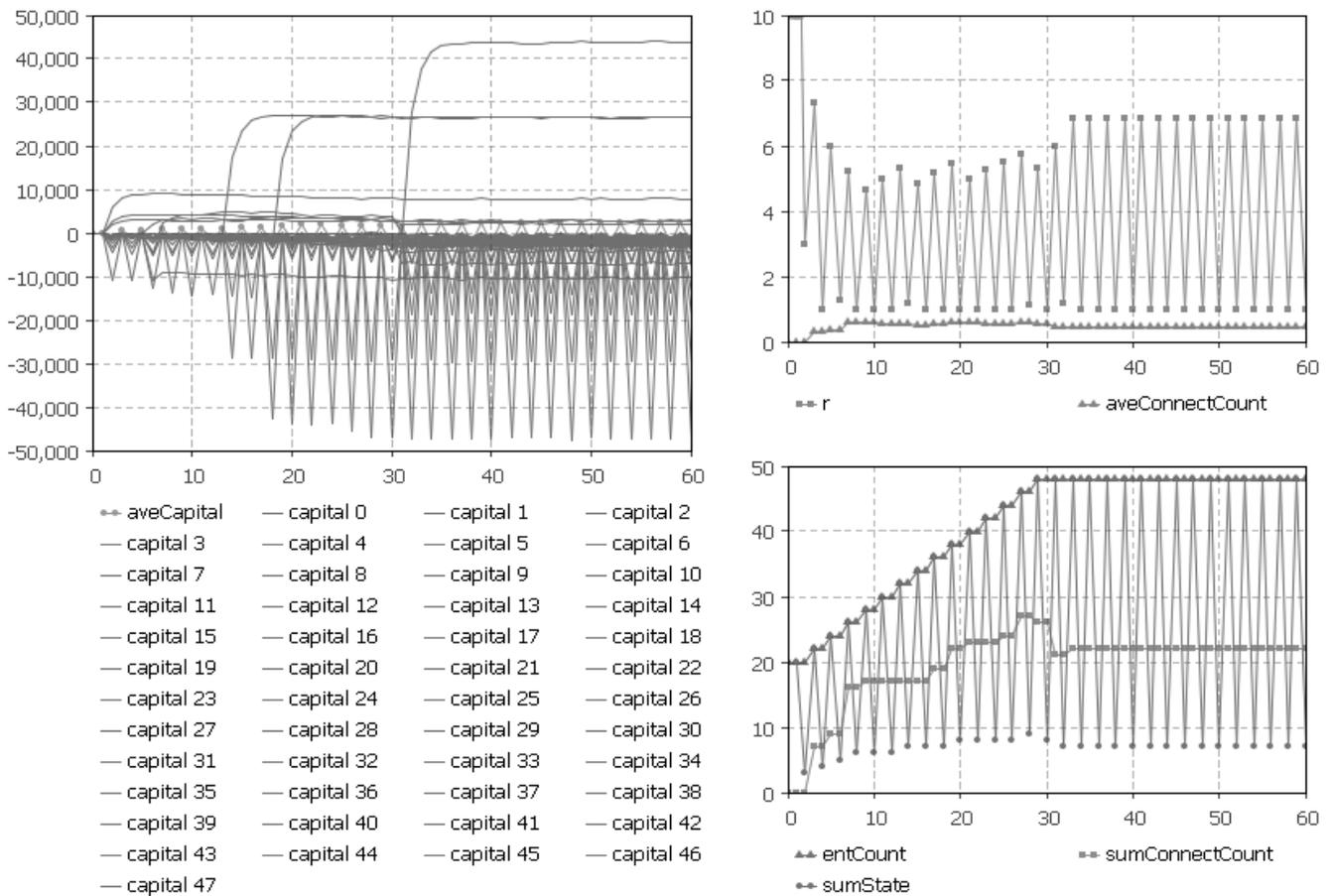


Рис. 2. Графики основных итоговых показателей прогона 2

в целом компенсирует эту проблему, но на графике заметны регулярные провалы. Они иллюстрируют недостаток этого подхода: недостающие средства могут быть получены только на следующем шаге обмена, когда однозначно определены излишки. Решить эту проблему позволяют внутренние деньги. Это заметно и на графиках — в последнем прогоне они, даже в худших случаях, колеблются около нуля. Значит, все участники сети способны к обмену большую часть времени, что можно назвать успешным функционированием. Это подтверждают и значения других результирующих переменных (таблица 2):

Данные эксперимента позволяют сделать вывод о том, что присоединение к сети самых крупных участников из возможных выгоднее, чем присоединении самых дешевых. Но по сравнению с другими, влияние этого параметра меньше. Применение излишек капитала на помощь участникам сети, оказавшимся в критической ситуации, лучше влияет на её благополучие, чем их применение для присоединения новых членов. Поддержание имеющихся связей обеспечивает большую стабильность сети, чем появление новых узлов, т.к. выход из сети даже одного элемента может повлиять на мно-

жество других, сильнее, чем появление нового. Но только ввод внутренних денег — средства автономизации финансов, обеспечивающего обмен в любой ситуации, независимо от прочих факторов, позволяет говорить о полностью стабильном функционировании сети.

### Выводы

С технической точки зрения, гибридная имитационная модель, предложенная в данном исследовании, совмещает в себе преимущества двух подходов к имитационному моделированию. Так же, как агентная модель, она позволяет отразить структуру сети и состояние системы в целом, легко масштабировать модель, меняя количество агентов. При этом, как системно-динамическая модель, наглядно демонстрирует финансовые потоки внутри предприятия и состояние каждого участника сети в динамике.

С точки зрения практического применения, разработанная модель является важным инструментом поддержки принятия решений при управлении деятельностью местных сообществ с автономизированными

Таблица 2. Значения результирующих переменных по прогонам

Переменная	Прогон 1	Прогон 2	Прогон 3
sumMoneyTurnover	16 014 719,560	16 096 453,688	5 484 036,293
sumCapitalSurplus	4 440 310,943	4 310 810,112	4 315 388,481
sumInsideMoney	0	0	244 603,125

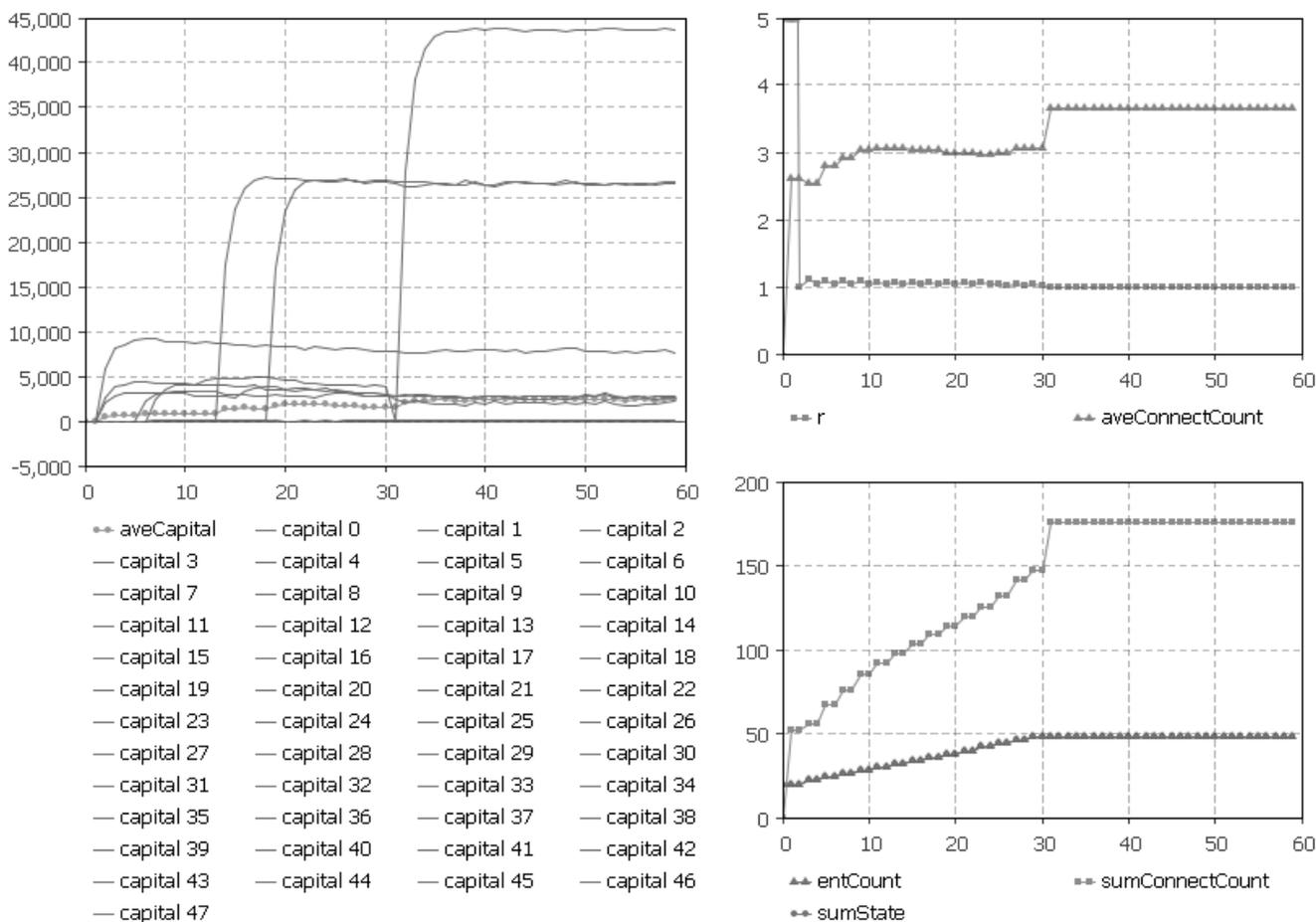


Рис. 3. Графики основных итоговых показателей прогона 3

финансами. Она даёт возможность не только экспериментально подтвердить или опровергнуть выдвинутые гипотезы, но и наглядно продемонстрировать результаты принятия того или иного решения. Последнее может

быть полезно, когда нужно донести особенности функционирования предпринимательской сети до людей, не погруженных глубоко в предметную область, например, потенциальных инвесторов или общественности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асаул А. Н., Скуматов Е. Г., Локтеева Г. Е. Методологические аспекты формирования и развития предпринимательских сетей / Под ред. д.э.н., проф. А. Н. Асаула. — СПб.: Гуманистика, 2004. — 256 с.
2. Зубаревич Н. Тенденции развития российских регионов [Электронный ресурс] // Выступление на 470-м заседании Совета Федерации. URL: <http://council.gov.ru/events/news/111162/> (дата обращения: 28.12.2020).
3. Каталевский Д. Ю. Системная динамика и агентное моделирование: необходимость комбинированного подхода [Электронный ресурс]. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/articles/sistemnaya-dinamika-i-agentnoe-modelirovanie-neobkhodimost-kombinirovannogo-podkhoda/> (дата обращения: 28.12.20).

4. Рузанов А. И., Рузанов П. А. Компьютерное моделирование поведения сложных экономических систем [Электронный ресурс] / А. И. Рузанов, П. А. Рузанов // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия: Социальные науки, 2014. — № 4 (36). — С. 69–75. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternoe-modelirovanie-povedeniya-slozhnyh-ekonomicheskikh-sistem> (дата обращения: 28.12.2020).
5. Шеломенцев А. Г., Сятчихин С. В. Особенности междисциплинарного подхода к исследованию форм самоорганизации местных сообществ в сфере финансов [Электронный ресурс] / А. Г. Шеломенцев, С. В. Сятчихин // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика, 2019. — № 3 (29). — С. 24–32. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42656976> (дата обращения: 28.12.2020).
6. Hybrid simulation modelling in operational research: A state-of-the-art review / S. C. Brailsford, T. Eldabi, M. Kunc, N. Mustafee, A. F. Osorio // European Journal of Operational Research. — 2019. — 278. — P. 721–337.
7. The model of localized business community economic development under limited financial resources: computer model and experiment [Electronic resource] / D. Berg, R. Davletbaev, O. Zvereva, D. Nodjenko // E3S Web of Conferences, 2016. — Vol. 601001. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160601001> (дата обращения: 28.12.2020).

© Апанасенко Анастасия Владимировна (stacy-chan@yandex.ru),

Паначев АнтонАнатолевич, Берг Дмитрий Борисович.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

DOI 10.37882/2223–2966.2021.02.04

# О ТРЕБОВАНИЯХ К ФОРМИРОВАНИЮ СИНТЕТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ ДЛЯ ЗАДАЧ ВЫСОКОНАДЕЖНОЙ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ<sup>1</sup>

## REQUIREMENTS FOR THE FORMATION OF SYNTHETIC IMAGES OF THE ELECTROENCEPHALOGRAM FOR THE TASKS OF HIGHLY RELIABLE BIOMETRIC AUTHENTICATION

**A. Borshevnikov  
S. Goncharov  
Yu. Dobrzhinskii**

*Summary.* The article discusses algorithms of generation of synthetic images of the electroencephalogram used in the tasks of highly reliable biometric authentication. The paper describes the indicators of stability, uniqueness and quality of biometric parameters used to train the neural network converter "Biometrics — access code". Within the framework of the article, the requirements for the generation of synthetic biometric images of an electroencephalogram are formed using the example of the P300 potential.

*Keywords:* biometric authentication, neural net transformer "Biometrics — access code", key recovery, electroencephalogram, P300, natural biometric images, synthetic biometric images.

**Боршевников Алексей Евгеньевич**

Старший преподаватель, Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)  
borshevnikov.ae@dvfu.ru

**Гончаров Сергей Михайлович**

К.ф.-м.н., профессор, Морской государственный университет имени Г.И. Невельского (г. Владивосток)  
sgprim143@gmail.com

**Добржинский Юрий Вячеславович**

К.т.н, профессор, Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)  
dobrzhinskii.yv@dvfu.ru

*Аннотация.* В статье рассматриваются алгоритмы генерации синтетических образов электроэнцефалограммы, используемой в задачах высоконадежной биометрической аутентификации. В работе описываются показатели стабильности, уникальности и качества биометрических параметров, использующихся для обучения нейросетевого преобразователя «Биометрия — код доступа». В рамках статьи сформированы требования к генерации синтетических биометрических образов электроэнцефалограммы на примере потенциала P300.

*Ключевые слова:* биометрическая аутентификация, нейросетевой преобразователь «Биометрия — код доступа», восстановление ключа, электроэнцефалограмма, P300, естественные биометрические образы, синтетические биометрические образы.

**С**оздание новых механизмов защиты информации является важной задачей для технологического развития государств. В Российской Федерации в рамках национальной технологической инициативы разрабатывается план создания рынка SafeNet, который предполагает разработку новых методов и устройств обеспечения информационной безопасности. В частности, особая роль в создании рынка SafeNet отводится системам высоконадежной биометрической аутентификации, что означает надежность данных систем, сравнимой с задачей полного перебора злоумышленником некоторого криптографического ключа. Также подобные системы принято называть биокриптографическими.

Создание биокриптографических систем на данном этапе развития технологий может основываться на двух подходах:

- ◆ первый подход основывается на использовании «нечетких» экстракторов и кодов исправляющих ошибки [1];
- ◆ второй подход базируется на использовании нейронных сетей для восстановления криптографического ключа пользователя. Данный подход получил в литературе название нейросетевых преобразователей «Биометрия — код доступа» [2,3].

Для обеспечения высокого уровня безопасности подобных технологий целесообразно использовать

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России (грант ИБ) № 9/2020

Таблица 1. Сравнение показателей уникальности, стабильности и качества естественных и синтетических данных электроэнцефалограммы

Характеристика	Характеристики естественных данных	Характеристики синтетических данных
$E(c(a_i))$	1.36	0.58
$\sigma(c(a_i))$	0.51	0.35
$\min(c(a_i))$	0.85	0.14
$\max(c(a_i))$	4.18	2.67
$E(u(a_i))$	0.29	4.04
$\sigma(u(a_i))$	0.12	1.76
$\min(u(a_i))$	0.14	0.69
$\max(u(a_i))$	0.68	8.40
$E(q(a_i))$	0.14	0.71
$\sigma(q(a_i))$	0.04	0.24
$\min(q(a_i))$	0.08	0.19
$\max(q(a_i))$	0.24	1.47

биометрические характеристики, обладающие высокой конфиденциальностью. Такой характеристикой является электроэнцефалограмма (ЭЭГ).

Одной из проблем, возникающей в ходе проведения исследований методов биометрической аутентификации, является проблема сложности сбора большого количества естественных образцов биометрической характеристики. Особенно остро подобная задача стоит как раз для высококонфиденциальных биометрических характеристик, так как их уровень конфиденциальности обычно напрямую связан с трудоемкостью сбора данных этих характеристик. Для решения данной проблемы принято использовать вместо естественных данных специально сгенерированные синтетические образцы. Однако для сохранения корректности исследуемой модели биометрической системы необходимо, чтобы характеристики синтетических биометрических параметров соответствовали значениям естественных параметров.

Для биометрических параметров вводится ряд характеристик, позволяющих охарактеризовать их: стабильность биометрического параметра  $c(a_i)$ , показатель уникальности биометрического параметра  $u(a_i)$ , показатель качества биометрического параметра  $q(a_i)$ , а также

важными параметрами являются математические ожидания образов  $E(a_i)$  и их стандартное отклонение  $\sigma(a_i)$ . Вычисление показателей стабильности, уникальности и качества указаны в работе [5].

Для заданных величин очевидно, что они зависят от значений математического ожидания и стандартного отклонения биометрических параметров образов «Свой» и «Чужой».

Для введения ограничений для формирования синтетических образцов необходимо описать данную процедуру. Стандарт ГОСТ Р 52633.2–2010 предусматривает генерацию синтетических образцов с помощью четырех алгоритмов, имеющих определенные недостатки: синтез, мутация, морфинг и перестановка фрагментов [3].

Для анализа алгоритмов генерации синтетических образцов, используемого в задачах высоконадежной биометрической аутентификации на основе ЭЭГ, был создан генератор синтетических образов, основанный на алгоритмах ГОСТ Р 52633.2.

Для проведения исследований были использованы данные опыта, проведенного с нейросетевым преобразователем «Биометрия — код доступа» ранее [4]. В част-

ности, использовались данные ЭЭГ для потенциалов P300. Дополнительно была сгенерирована база синтетических образов, состоящая из 104 образцов. Для первоначальной базы естественных образов «Чужой», содержащей 1000 примеров и дополненной синтетическими образами были рассчитаны характеристики биометрических параметров образов. Результаты расчетов этих данных приведены в таблице (таблица 1).

Как можно увидеть дополнение базы данных «Чужой» ведет к уменьшению значений показателей стабильности, и качества биометрических параметров ЭЭГ. Однако можно отметить рост уникальности биометрических параметров.

Для проверки результатов генерации образов было проведено исследование на нейросетевом преобразователе. При тестировании использовались параметры, использованные в рамках экспериментов [4,6]. Был проведен опыт по возможности получения злоумышленником секретного ключа при условии знания весовых коэффициентов и «мысленного пароля» легитимного пользователя. Точность аутентификации в рамках данного опыта составила 100%.

Полученные результаты говорят о том, что необходимо контролировать стандартное отклонение, которое должно уменьшаться или оставаться таким же, как и стандартное отклонение параметров естественных образов. Также важно контролировать уменьшение разности между математическими ожиданиями параметров

естественных и синтетических образов. Данная величина должна увеличиваться, что обеспечит рост качества биометрических параметров. Также данная мера позволяет увеличить уникальность параметров. Если говорить о стабильности биометрических параметров, то данная характеристика может варьироваться, хотя желательно, чтобы она была равна 1.

Таким образом, установленные требования позволяют обеспечивать высокие показатели работы преобразователя «Биометрия — код доступа». Для более точной оценки качества работы генератора можно выделить следующие направления исследований:

- ◆ расширение базы естественных образов и изучение их характеристик;
- ◆ генерация базы синтетических образов, согласно определенных требований для генерации синтетических образов, и изучение их характеристик;
- ◆ проверка корректности введенных требований для генерации синтетических образов на полученных ранее более больших базах биометрических образов.

Также стоит отметить, что одним из теоретически эффективных подходов, которые могут позволить увеличить качество биометрической аутентификации, является генерация синтетических примеров электроэнцефалограммы на основе генеративно-состязательных сетей [7]. Эффективность построения алгоритма на основе указанного перспективного подхода требует отдельного исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Dodis Y. Fuzzy extractors: How to generate strong keys from biometrics and other noisy data / Y. Dodis, R. Ostrovsky, L. Reyzin, A. Smith // *SIAM Journal on Computing*. — 2008. — Vol. 38, № 1. — P. 97–139.
2. Защита информации. Техника защиты информации. Требования к формированию синтетических биометрических образов, предназначенных для тестирования средств высоконадежной биометрической аутентификации: ГОСТ Р 52633.2–2010. — Введен впервые; Введ. 30.09.2010. — М.: Стандартинформ, 2011. — 17 с.
3. Защита информации. Техника защиты информации. Автоматическое обучение нейросетевых преобразователей биометрия — код доступа: ГОСТ Р 52633.5–2011. — Введен впервые; Введ. 01.12.2011. — М.: Стандартинформ, 2012. — 20 с.
4. Гончаров С. М. Использование вейвлет-преобразования для выделения биометрических характеристик потенциала P300 в задачах высоконадежной биометрической аутентификации / Гончаров С. М., Боршевников А. Е. // *Журнал «Информация и безопасность»*. Том. 19, часть 4. Воронеж: ВГУ, 2016. — С. 527–530.
5. Ахметов, Б. С. Технология использования больших нейронных сетей для преобразования нечетких биометрических данных в код ключа доступа: Монография / Б. С. Ахметов, А. И. Иванов, В. А. Фунтиков, А. В. Безяев, Е. А. Малыгина. — Алматы: ТОО «Издательство LEM», 2014. — 144 с.
6. Гончаров С. М., Боршевников А. Е. Нейросетевой преобразователь «Биометрия — код доступа» на основе электроэнцефалограммы в современных криптографических приложениях. // *Вестник СИБГУТИ*: — Новосибирск: Изд-во СИБГУТИ, 2016. — № 1. — С. 17–22.
7. T. Piplani, N. Merill and J. Chuang, "Faking it, Making it: Fooling and Improving Brain-Based Authentication with Generative Adversarial Networks," 2018 IEEE9th International Conference on Biometrics Theory, Applications and Systems (BTAS), 2018, pp. 1–7.

© Боршевников Алексей Евгеньевич ( borshevnikov.ae@dvfu.ru ),

Гончаров Сергей Михайлович ( sgprim143@gmail.com ), Добржинский Юрий Вячеславович ( dobrzhinskii.yv@dvfu.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КУПОЛЬНОЙ ЧАСТИ АРХИТЕКТУРНОГО ОБЪЕКТА В 3D MAX

**Ваванов Дмитрий Алексеевич**

Преподаватель, Московский Государственный  
Строительный Университет, г. Москва  
kohinor51@yandex.ru

### MODELING THE DOME OF AN ARCHITECTURAL OBJECT IN 3D MAX

**D. Vavanov**

*Summary.* This article examines in detail an example of building an architectural object — the domed part of an Orthodox church. A step-by-step analysis of the construction procedure is given. 3dMAX was chosen as the working environment for modeling. As a result of the analysis, a dome was built.

*Keywords:* temple architecture, three-dimensional modeling options, computer graphics, visualization.

*Аннотация.* В данной статье подробно разбирается пример построения архитектурного объекта — купольной части православного храма. Приводится поэтапный анализ процедуры построения. В качестве рабочей среды моделирования выбран 3dMAX. В результате проведенного анализа построен купол.

*Ключевые слова:* храмовая архитектура, варианты трехмерного моделирования, компьютерная графика, визуализация.

**В** современных компьютерных технологиях существуют несколько программ, позволяющих моделировать объекты архитектуры — это 3dMAX, AutoCAD, ArchiCAD, Revit и другие. Среди этих программ 3dMAX выгодно отличается универсальностью построений. В этой программе достаточно легко можно смоделировать сложные архитектурные сооружения, и получать не только статические, но и динамические изображения (видеоролики).

В данной статье рассмотрим моделирование купольной части храма.

Необходимо отметить, что любой объект в этой программе можно смоделировать различными способами (непосредственное использование подходящих примитивов; использование плоских и пространственных сплайнов с последующей обработкой; использование логических операций).

На первом этапе построим постамент, представляющий собой квадратную плиту. Для этого используем примитив BOX (см. рис. 1).

На следующем этапе необходимо скорректировать форму этой плиты, и для этого можно воспользоваться логической операцией вычитания. Необходимо создать два горизонтальных цилиндра одинакового радиуса, оси которых пересекаются под прямым углом, и образующие которых параллельны боковым граням плиты. (см. рис. 2).

Создадим новый объект в категории Compound посредством применения булевой операции. Для этого вначале нужно выделить созданный объект (плиту), установить тип операции — Subtraction, и в качестве операндов указывать цилиндры (вначале первый, а затем второй). В результате применения этой операции должен появиться следующий объект (см. рис 3)

Дальше произведем моделирование барабана. В геометрическом отношении он представляет собой расположенную на невысоком цилиндре полую трубу с симметрично расположенными прорезями для окон. Поэтому вначале построим невысокий цилиндр, воспользовавшись соответствующим примитивом, отцентрируем его в плане по построенной ранее плите, и затем выровняем

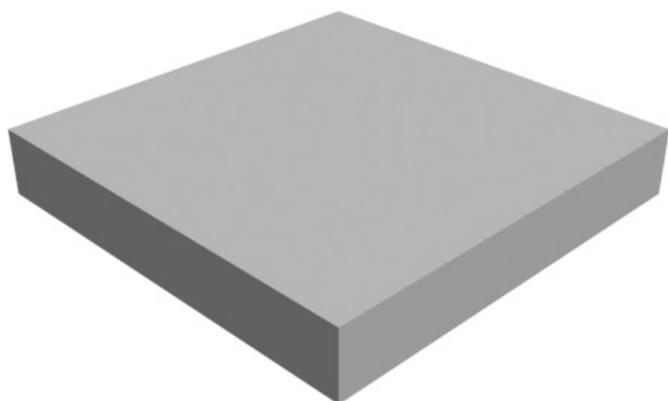


Рис. 1. Начальный этап построения купольной части храма.

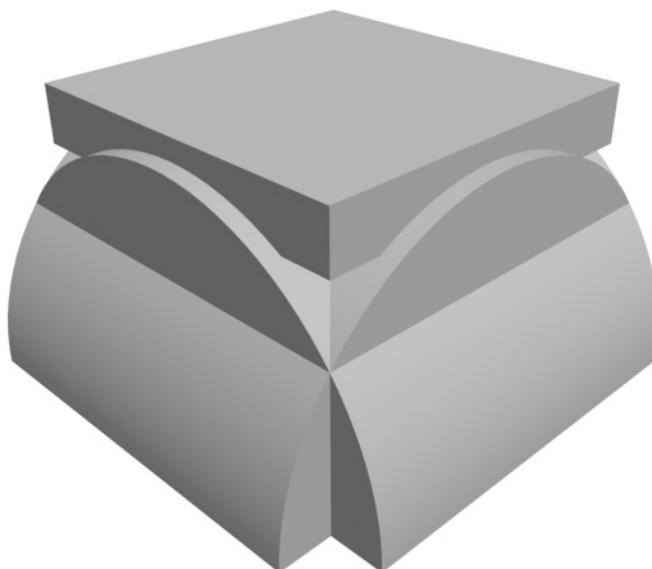


Рис. 2. Прimitives, служащие операндами в булевой операции вычитания.

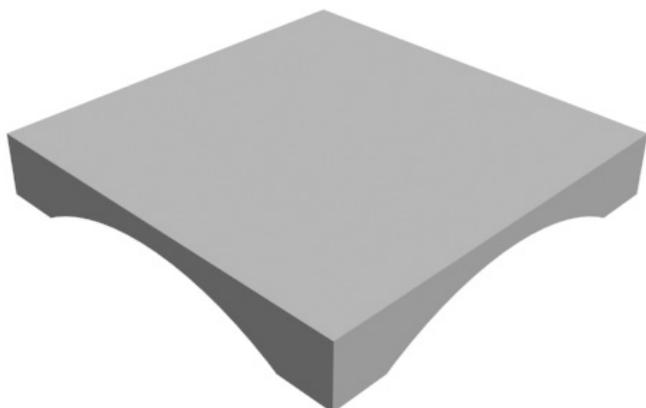


Рис. 3. Результат применения булевой операции вычитания из одной плиты двух цилиндров.

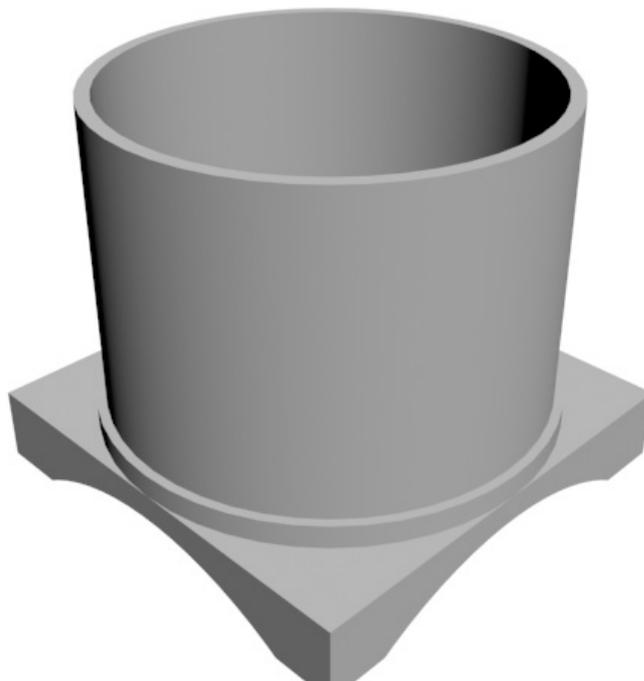


Рис. 4. Начальный этап построения барабана.

его по координате Z таким образом, чтобы минимум цилиндра соответствовал максимуму плиты постамента.

После этого строим трубу с помощью соответствующего примитива, отцентрировав ее в плане по центру цилиндра, и аналогично предыдущему шагу, устанавливаем ее строго на верхнюю плоскость основания ци-

линдра. В результате должно получиться следующее (см. рис. 4).

Затем необходимо прорезать окна. Для формирования профиля одного окна начертим замкнутый сплайн нужной формы, и выдавим этот сплайн, используя модификатор Extrude, при этом установим величину вы-

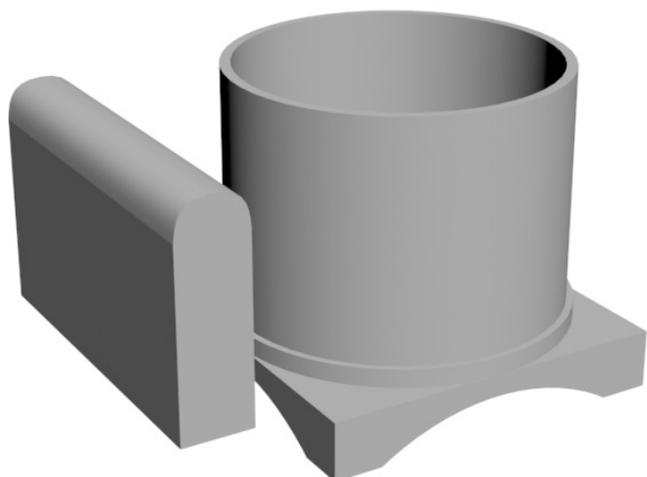


Рис. 5. Формирование объекта, «пробивающего» окна в барабане.

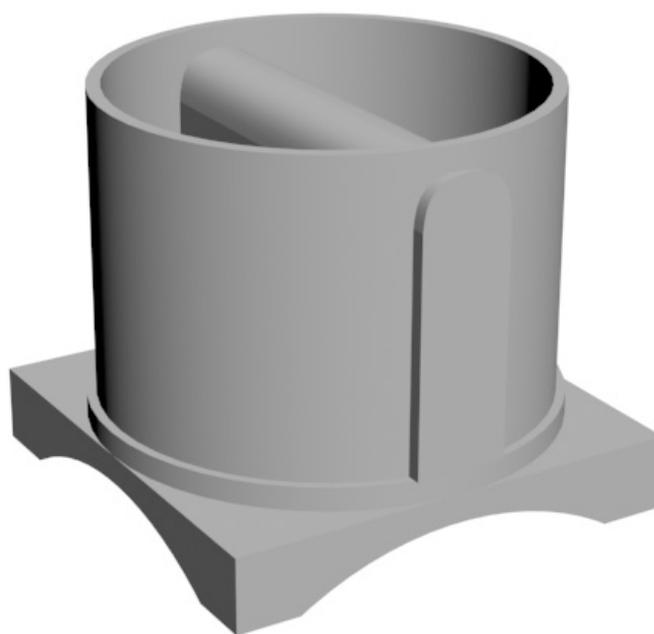


Рис. 6. Установленный пробойник окон

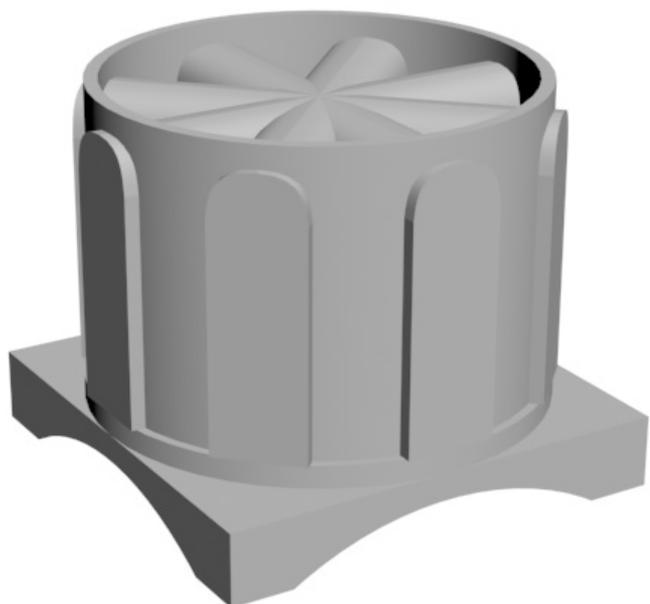


Рис. 7. Результат выполнения команды Array для пробойника

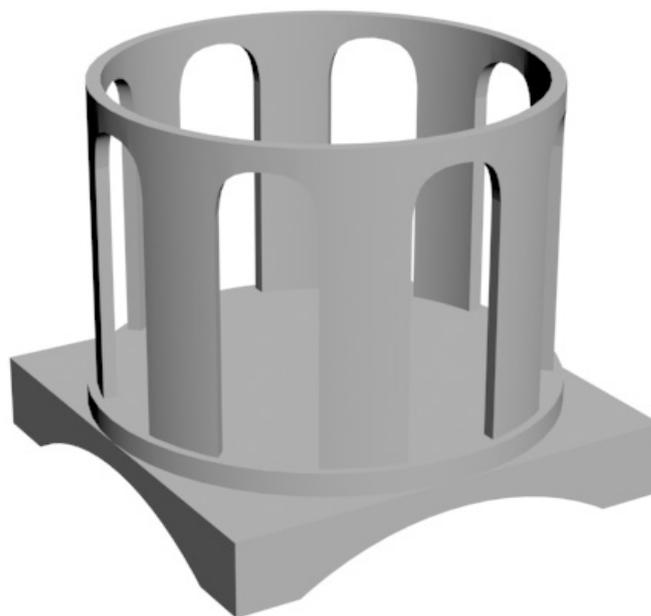


Рис. 8. Этап построения купольной части храма. Барабан с пробитыми отверстиями под окна.

давливания, превышающую внешний диаметр трубы. Это будущий «пробойник», посредством которого будут прорезаться окна в барабане. (см. рис. 5).

Затем надо правильно позиционировать только что созданный объект относительно трубы-барабана. Отцентрируем его в плане относительно трубы, а по высоте в данной конкретной версии архитектурного объекта

установим его точно на верхнюю грань цилиндра барабана (см. рис. 6).

Необходимо создать несколько копий этого «пробойника». Для этого необходимо воспользоваться командой Array, создающей круговой массив копий элементов. Но прежде выполнения этой команды нужно необходимо отцентрировать точку Gizmo (точка приложения

модификаторов). Во вкладке Hierarchy вкладки Modify устанавливаем Gizmo в нужную точку. Затем объект готов к применению команды Array.

Поскольку каждый пробойник порождает сразу 2 окна, высекаемых на противоположных участках барабана, то для формирования 8 окон понадобится 4 пробойника.

Выполним команду Array, создавая круговой массив элементов, при этом угол между соседними элементами установим 45 градусов. Результат показан на рис. 7.

Затем необходимо пробить окна. Для этого устроим курсор на барабане, а затем во вкладке Create выберем тип создаваемого объекта — Compound, конкретизируем тип сложности — Boolean, и, наконец, укажем тип логической операции — Subtracion. Затем последовательно будем указывать курсором мыши на конкретные экземпляры пробойников, в результате чего каждый раз

пробойники будут исчезать, но при этом появляться пары окон. (см. рис. 8).

## Вывод

В заключение можно сделать вывод о том, что 3dMAX позволяет с минимальными затратами временных ресурсов добиться реалистического изображения геометрии любых сложных архитектурных объектов. В отличие от системы AutoCAD, ориентированной прежде всего на машиностроительные чертежи, все построения можно проводить с меньшим количеством уточняющих запросов. Это дает некоторые потери в точности построения, но зато при этом увеличивается скорость работы проектировщика – архитектора и дизайнера. Вдобавок 3dMAX позволяет эффективно работать с материалами, цветом и различными текстурами, позволяя использовать фотографии в качестве карт цвета, прозрачности и выпуклости, что существенно повышает реалистичность итогового изображения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Миловская О. С. 3ds Max 2018 и 2019. Дизайн интерьеров и архитектуры. Дизайн интерьеров и архитектуры. СПб. 2019. 178с.
2. Горелик. А. 3ds Max 2018. СПб. 2018. 528с.
3. Антонова Н. Е., Вятчина Т. Н., Рыцарев К. В., Щенков А. С. Архитектура русского православного храма. Памятники исторической мысли. М. 2013. 528с.
4. Кеслер М. Ю. Православные храмы. Том 2. Православные храмы и комплексы. Пособие по проектированию и строительству. 2003. 223с.
5. Шубенкова М. Ю. Компьютерное моделирование как средство архитектурно-исторического анализа. [https://marhi.ru/AMIT/2008/2kvart08/Shubenkova/Shubenkova02\\_AMIT\\_3\\_paper.pdf](https://marhi.ru/AMIT/2008/2kvart08/Shubenkova/Shubenkova02_AMIT_3_paper.pdf) С. 9

© Ваванов Дмитрий Алексеевич (kohinor51@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ДАННЫХ С ПРИБОРОВ УЧЕТА ПОТРЕБЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ

### AUTOMATION OF THE DATA CONTROL PROCESS FROM THE DEVICES FOR MEASURING CONSUMPTION RESOURCES

**Yu. Golodkov  
M. Rudenko  
D. Usol'cev**

*Summary.* Increasing energy saving and efficiency in the use of thermal and electrical resources can be achieved by using automatic control of these metering devices for consumed resources. There are systems for remote collection and processing of instrument data based on data transmission via radio and GPS channels. The paper proposes an automatic system using a programmable controller based on wired data transmission, which ensures high stability and reliability of operation.

*Keywords:* automation, remote data collection, accounting of consumed resources.

**Голодков Юрий Эдуардович**

*К.т.н., доцент, Иркутский национальный  
исследовательский технический университет  
yrg27@mail.ru*

**Руденко Максим Борисович**

*К.т.н., профессор, Восточно-Сибирский институт  
МВД России (г. Иркутск)  
rudenko@inbox.ru*

**Усольцев Дмитрий Витальевич**

*Иркутский национальный исследовательский  
технический университет (г. Иркутск)  
usoltzeff.dmitry2016@yandex.ru*

*Аннотация.* Повышение энергосбережения и эффективности использования тепловых и электрических ресурсов можно достигнуть путем использования автоматического контроля данных приборов учета потребляемых ресурсов. Существуют системы дистанционного сбора и обработки показаний данных приборов, основанных на передаче данных по радио и GPS каналу. Авторы предлагают использовать автоматическую систему контроля с использованием программируемого контроллера на основе проводной передачи данных, что обеспечивает высокую устойчивость и надежность эксплуатации.

*Ключевые слова:* автоматизация, дистанционный сбор данных, учет потребляемых ресурсов.

**П**ринятие федеральных и региональных законов об энергосбережении в настоящее время направлено на обеспечение не только требований рационального использования не возобновляемых источников энергии, но и требований энергобезопасности, несоблюдение которых приводит к возникновению аварийных режимов, сопровождающихся отключением абонентов от тепловых и электрических сетей.

Проблема повышения энергосбережения потребляемых ресурсов является одним из жизненно важных вопросов для нашей страны, климатические условия которой отличаются суровой зимой и сравнительно ко-

ротким летом. На законодательном уровне утверждены требования обеспечения энергетической эффективности зданий, строений и сооружений [1]. В соответствии со статьей 11 Федерального закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ не допускается ввод в эксплуатацию зданий, строений, сооружений, построенных, реконструированных, прошедших капитальный ремонт и не соответствующих требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов. Внедрение программ энер-

го- и ресурсосбережения возможно при выполнении требований не только по осуществлению контроля производства, но и распределению и потреблению этих ресурсов. В статье авторы предлагают повысить энергетическую эффективность эксплуатируемых зданий за счет рационального использования потребляемых ресурсов с помощью автоматизации процесса контроля данных с приборов учета.

Автоматизация процесса дистанционного сбора данных приборов учета позволяет непрерывно контролировать параметры во времени, а так же исключает возможность искусственной корректировки показаний приборов пользователями, так как опрос приборов производится с определенной периодичностью и все данные архивируются и отправляются на общий сервер.

Рассмотрим особенности дистанционного сбора данных приборов учета и процесса контроля данных на примере счетчиков учета электроэнергии.

Электросчетчики являются самыми распространенными приборами учета, так как их применение охватывает разнообразные объекты, включая многоквартирные жилые дома, промышленные предприятия, различные частные жилые поселки, гаражные кооперативы и т.п.

Использование принципа дистанционного сбора информации и обработки показаний данных приборов имеет ряд преимуществ:

- ◆ оперативный сбор и актуальная информация в любой момент времени значительно увеличивает скорость процесса сбора показаний, так как опрос и архивация данных проходят в автоматическом режиме и выполняются вычислительной техникой;
- ◆ организация работы в режиме полного цикла, т.е. сбор показаний приборов учета, обработка данных, расчет стоимости потребленной энергии для каждого потребителя, формирование квитанций и отправка их на печать позволяет осуществить полную автоматизацию ведения базы данных и оптимизировать этот процесс в части трудовых и финансовых затрат;
- ◆ существует возможность использования дифференцированного тарифа (дневной, ночной, комбинированный и т.д.) и получение потребителем услуг по индивидуальным условиям;
- ◆ постоянный контроль за показаниями приборов исключает возможность несанкционированной корректировки изменения данных;
- ◆ существует возможность автоматического (дистанционного) подключения/отключения определенного потребителя в случае несвоевременной оплаты, автоматической рассылки SMS-уведомлений.

К недостаткам систем применения дистанционного сбора и обработки показаний приборов можно отнести только начальные затраты на их внедрение.

Таким образом, вопросы автоматического контроля данных с приборов учета потребляемых ресурсов являются актуальными задачами.

Известны технические решения применения приборов учета с дистанционной передачей данных. Компания ООО НПП «Теплодохран» [2] предоставляет услуги в данной области с установкой приборов учета с функцией передачи данных по радиоканалу. Приборы учета передают данные на базовую станцию, где осуществляется архивирование и далее отправка данных на сетевой сервер, который выполняет общую обработку данных. Обработанные данные заносятся в специальные программы для расчетов, после этого выходные данные дублируются в личный кабинет потребителя.

Использование передачи данных по радиоканалу имеет свои преимущества:

- ◆ организация (развертывание) сети передачи данных является простой и осуществляется в короткие сроки;
- ◆ стоимость сети передачи данных по радиоканалу является низкой (отсутствие проводной связи).

Вместе с тем использование радиоканала для передачи показаний приборов учета имеет ряд недостатков:

- ◆ скорость передачи данных снижается по мере увеличения клиентов, так как сигнал делится между всеми приборами учета в пределах обслуживания их одной и той же точкой доступа;
- ◆ наличие пространственных препятствий влияет на дальность и качество передачи сигнала;
- ◆ невысокая надежность всей системы;
- ◆ возможность взлома сети при неправильной настройке.

Рассмотрим еще одну компанию «Ценнер-Водоприбор», предоставляющую услуги автоматического опроса приборов учета [3]. Компания предлагает смешанную передачу данных. Для снятия показаний приборов на каждом объекте устанавливается модуль сбора данных, который по радиоканалу опрашивает приборы, передача данных на сервер осуществляется по GPS каналу. Полученная информация автоматически записывается в базу данных сервера. Доступ к показаниям, занесенных в базу данных, возможен как для потребителя, так и для поставщика услуг посредством интернет соединения с использованием любого WEB — браузера.

Данная схема, как и предыдущая, имеет положительные и отрицательные стороны, связанные с использованием

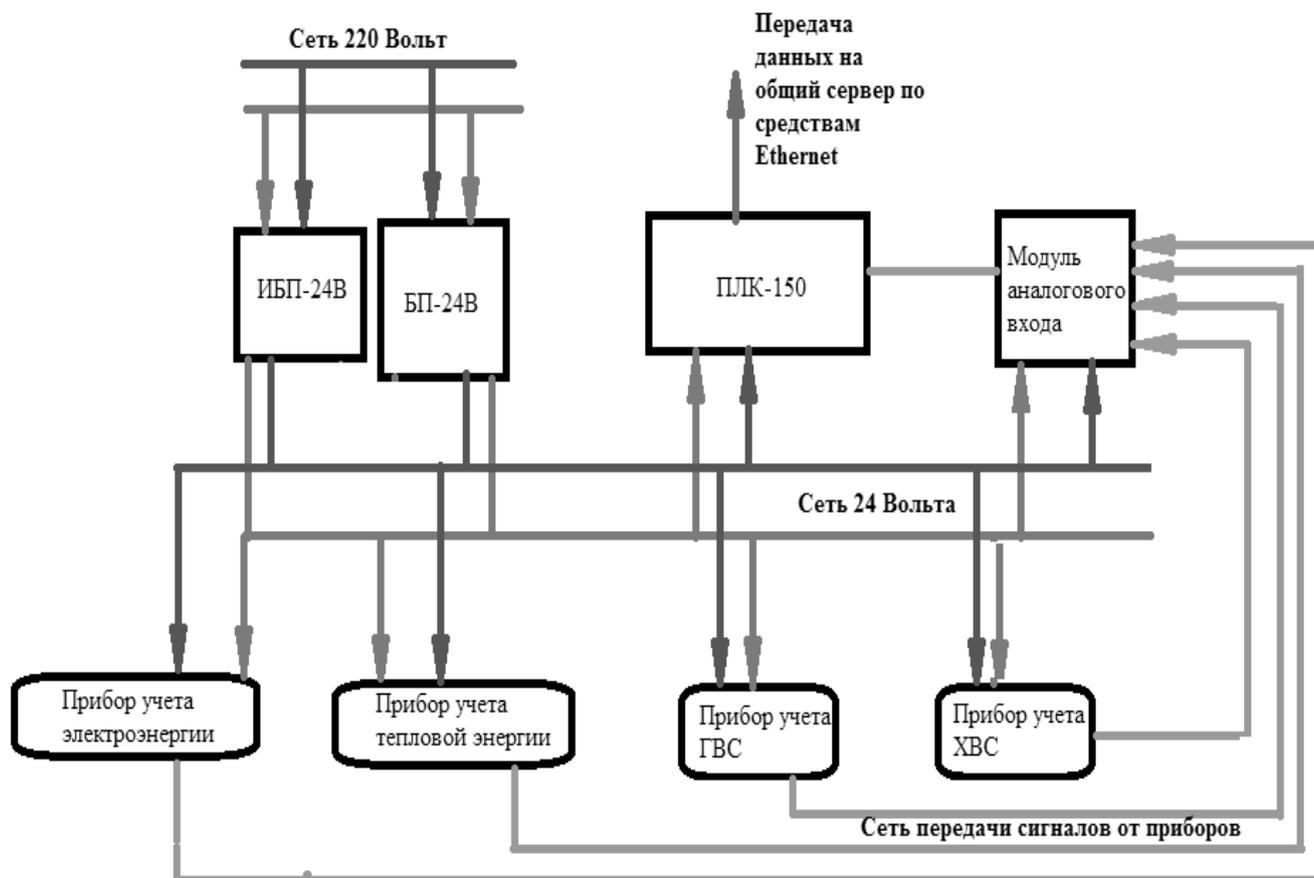


Рис. 1. Принципиальная схема системы автоматического сбора показаний приборов учета

ем радиоканала, однако к минусам данной схемы можно добавить зависимость от поставщика услуг связи и связанные с этим неудобства эксплуатации и настройки сети.

С учетом выполненного анализа известных технических решений авторы предлагают проект системы автоматического контроля данных приборов учета потребляемых ресурсов с использованием проводной передачи данных от приборов учета. Для реализации данной системы предлагается использовать приборы учета с импульсными выходами, источник питания для данных приборов, контроллер для опроса приборов и обработки данных.

В качестве контроллера выбран прибор ПЛК-150AL-24 фирмы OVEN с питанием 24 вольта [4]. Применение контроллера с питанием позволяет организовать бесперебойную работу системы в случае отключения электроэнергии с помощью аккумуляторных батарей. Кроме того, все приборы учета также будут иметь питание 24 вольта, таким образом, реализуется принцип единого источника питания на подключаемое оборудование.

В качестве прибора учета электроэнергии предлагается использовать счетчик с импульсным выходом

Mercurий 201.8 5/80A T1 D230B, для учета горячего и холодного водоснабжения (ГВС и ХВС) — универсальные счетчики «Пульсар» с импульсным выходом, для учета тепловой энергии — теплосчетчик ЭКО НОМ СТУ-15,2 QN-1,5 м3/ч [5,6,7].

На рисунке показана принципиальная схема реализации данной системы.

Авторы считают, что такой подход к передаче данных приборов учета будет обеспечивать устойчивую и надежную работу системы автоматического контроля потребления энергетических ресурсов.

Рациональное использование потребления электрических и тепловых ресурсов с помощью автоматизации процесса контроля показаний приборов учета позволит повысить энергетическую эффективность эксплуатируемых зданий. Полагаем, что наиболее экономически целесообразным применением данного технического решения окажется в многоквартирных домах. Данную систему можно реализовать как в случае ввода в эксплуатацию новых жилых домов, так и в случае реконструкции инженерных сетей зданий и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ [Электронный ресурс] URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_93978/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/) (дата обращения: 15.01.2021)
2. Сбор показаний распределителей тепла «Пульсар» с радиовыходом [Электронный ресурс] URL: <https://teplovodokhran.ru/products/avtomatizirovannyy-uchet-energoresursov-askue/sistema-sbora-dannykh-schetchikov-energoresursov-po-radiokanalu-pulsar-iot.html/> (дата обращения: 15.01.2021)
3. Пилотный проект [Электронный ресурс] URL: <https://www.zenner.ru/rasprodazha-cory-cory.html> (дата обращения: 15.01.2021) [Электронный ресурс]
4. ПЛК100/150/154 контроллеры для малых систем с AI/DI/DO/AO [Электронный ресурс] URL: [https://owen.ru/product/plk100\\_150\\_154](https://owen.ru/product/plk100_150_154) (дата обращения: 15.01.2021)
5. Электросчетчик Меркурий 201 [Электронный ресурс] URL: <https://pulsar.ru/catalog/din-equip/din-elmeter/merkuriy-201-8/> (дата обращения: 15.01.2021)
6. Счетчик воды Пульсар [Электронный ресурс] URL: <https://pulsar-msk.ru/product/du-15-impuls-vihod-voda/> (дата обращения: 15.01.2021)
7. Теплосчетчик ЭКО НОМ [Электронный ресурс] URL: <http://теплоприбор.пф/catalog/eko-nom-stu-15-1-stu-15-2-stu-20-i-rs-485/> <https://pulsar-msk.ru/product/du-15-impuls-vihod-voda/> (дата обращения: 15.01.2021)

© Голодков Юрий Эдуардович ( [urg27@mail.ru](mailto:urg27@mail.ru) ), Руденко Максим Борисович ( [rudenko@inbox.ru](mailto:rudenko@inbox.ru) ),  
Усольцев Дмитрий Витальевич ( [usoltzeff.dmitry2016@yandex.ru](mailto:usoltzeff.dmitry2016@yandex.ru) ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Г. Иркутск

# АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ СВЕРТОЧНЫХ АНСАМБЛЕЙ В НЕРЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРОГНОЗОВ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ В АВТОМАТИЧЕСКИХ ТОРГОВЫХ СИСТЕМАХ

Горелов Михаил Андреевич

МГТУ им. Баумана  
misha\_gorelov@mail.ru

**AN ALGORITHM FOR THE FORMATION OF CONVOLUTIONAL ENSEMBLES IN NON-RECURRENT NEURAL NETWORKS FOR PROCESSING TIME SERIES FORECASTS IN AUTOMATIC TRADING SYSTEMS**

*M. Gorelov*

*Summary.* The article deals with the main features of convolutional neural networks, their structure and application features. An algorithm for forming convolutional ensembles for processing time series forecasts based on the averaging of subnetwork predicates is proposed.

*Keywords:* neural network, time series, recurrent neural network, forecast.

*Аннотация.* В статье рассмотрены основные особенности нерекуррентных нейронных сетей сверточного типа, их структура и особенности применения. Предложен алгоритм формирования сверточных ансамблей для обработки прогнозов временных рядов на базе усреднения предикатов подсетей.

*Ключевые слова:* нейронная сеть, временной ряд, рекуррентная нейронная сеть, прогноз.

Оценка финансовых временных рядов, предсказания будущих изменений цен и определение паттернов движения рыночных показателей активно развивающаяся область исследований в области искусственных нейронных сетей (ИНС) [12]. Они находят широкое применение в различных подходах, описанных в литературе [1] и основанных на интеллектуальном анализе текста и обработке естественного языка при анализе и использовании различной информации для построения нелинейной прогнозной модели для точного прогнозирования цен [2]. Исходя из предложенных методов в таких подходах распространено применение ансамблей сверточных нейронных сетей [3] для достижения более высокого уровня совпадений в результатах оценки финансовых временных рядов.

Сверточная нейронная сеть или Convolutional Neural Network (CNN) — ИНС со специальной архитектурой, разработанной в 1988 году. CNN обладают рядом особенностей, которые эквивалентны некоторым особенностям зрительной коры, что позволяет ИНС приобрести значительные возможности в распознавании паттернов и распознавании зрительных образов во многих случаях достигающих возможностей человека [4]. Преимущество использования CNN для временных рядов состоит в том, что они могут эффективно извлекать знания и изучать

внутреннее представление непосредственно из необработанных данных временных рядов, и им не требуются специальные знания из области приложения для фильтрации входных функций [5]. Поэтому можно сказать, что CNN обладают большим потенциалом для выявления сложных закономерностей, скрытых в данных временных рядов.

Для того чтобы рассмотреть различные подходы формирования сверточных ансамблей необходимо проанализировать типовую архитектуру сверточной нейронной сети.

**Входной слой** — непосредственное представление входных данных пригодных для обработки следующими слоями сети — формула (1)

$$I_n = W \times H \times D, \quad (1)$$

где  $I_n$  — размерность входного слоя сети,  $W$  — длительность эпохи временного ряда,  $H$  — допустимые амплитуды значений предсказуемой величины,  $D$  — количество зависимых слоев временного ряда.

**Сверточный слой** — основной слой рассматриваемой ИНС, предназначен для выделения признаков

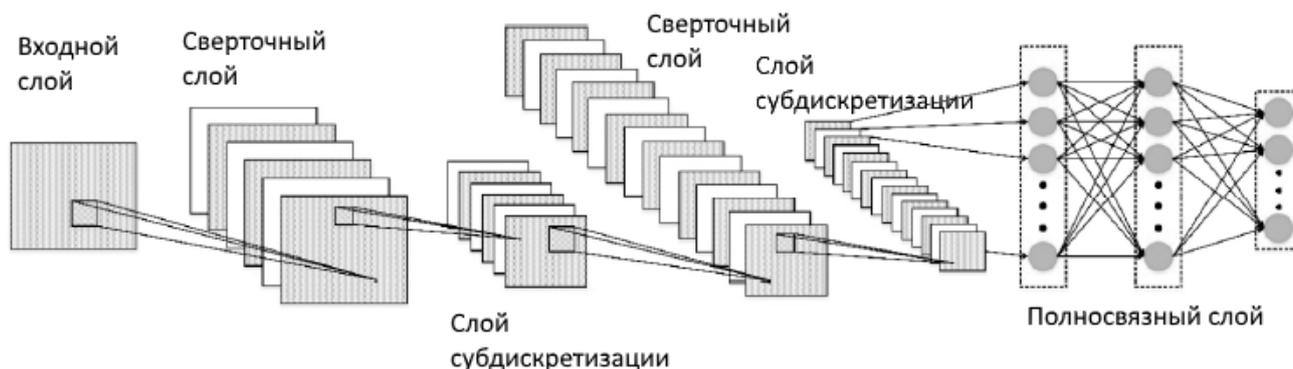


Рис. 1. Базовая архитектура CNN

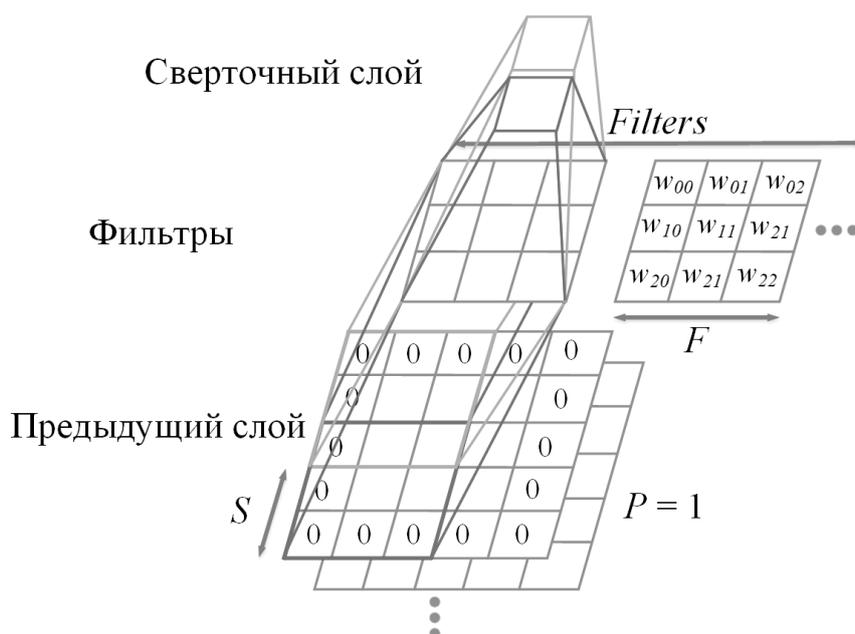


Рис. 2. Формирование сверточного слоя нейронной сети

и их преобразования с целью использования в более глубоких слоях сети и получения более сложных признаков.

$$y_i = \sum_i f(x_i \times \omega_i + b_i), i = 1, 2, \dots, k \quad (2)$$

где  $w_i$  и  $b_i$  вес и смещение соответственно,  $f()$  — функция активации,  $\times$  — операция свертки.

Состоит из двух и более мерных матриц весов связей нейронов предыдущего слоя с нейронами сверточного слоя. Каждый такой слой применяет операцию свертки на входные данные. В связи со схожестью данной операции с операцией фильтрации данных, такие слои так же часто называют фильтрами. Количество и тип таких фильтров определяет то какое количество и какие признаки необходимо выявить во временном

ряду. Саму операцию свертки можно рассматривать как применение и скольжение одномерного (временного) фильтра по временному ряду [6]. Более того, поскольку выходом свертки является новый фильтрованный временной ряд, применение нескольких сверток подразумевает создание многомерного временного ряда, размерность которого равна количеству используемых фильтров в слое. Обоснование этой стратегии заключается в том, что применение нескольких сверток приводит к генерации нескольких отличительных признаков, которые обычно улучшают производительность модели. На практике доказано, что этот вид слоя очень эффективен, и наложение различных сверточных слоев позволяет более глубоким слоям изучать высокоуровневые или более абстрактные функции, а слои, расположенные рядом с входом, позволяют изучать низкоуровневые функции.

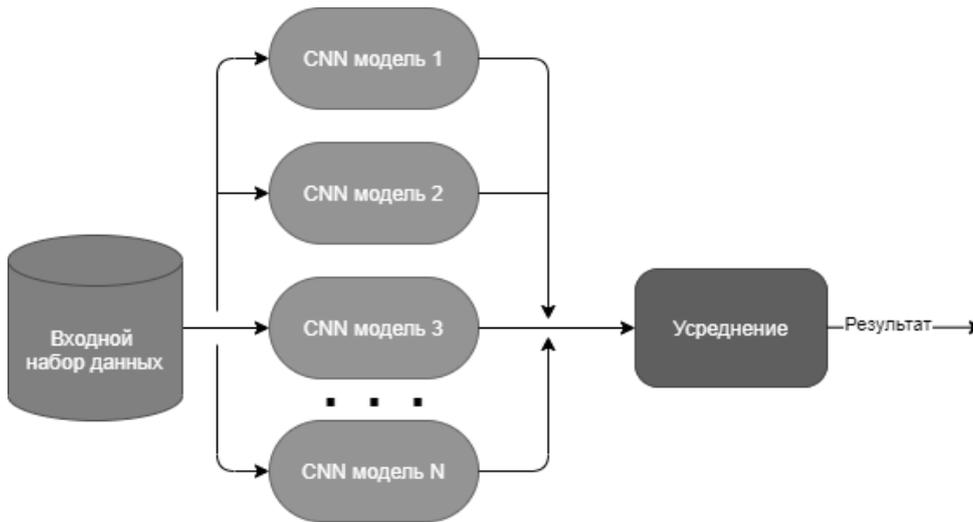


Рис. 3. Обобщенная структура сверточного ансамбля созданного по стратегии усреднения

Объединение результатов сверточных слоев позволяет устранить ограничения, когда карты объектов созданные такими слоями повторяют входной ряд. Результаты свертки фильтров объединяют в скользящее окно, уменьшая длину ряда чтобы достичь некоторой инвариантности трансляции обученных функций. Такое объединение часто выделяют в отдельный слой, который называется — **слой субдискретизации**.

$$z = \frac{1}{N} \sum_{(i,j) \in S} x_{i,j}, i, j = 1, 2, \dots, p \tag{3}$$

где  $p$  — ширина сверточного слоя, а  $S$  — квадратная матрица шириной  $p$ ,  $N$  — общее количество элементов,  $x_{i,j}$  — выходной весовой коэффициент сверточного фильтра.

Помимо цели сокращения вероятности быстрого переобучения, данный слой способствует сокращению вычислительных затрат и расходу памяти. Наиболее важным параметром данного слоя является ширина сверточного окна и функция субдискретизации, которая определяет какие данные берутся из результатов фильтров.

**Полносвязный слой**, основное назначение данного слоя — преобразование сигналов, полученных на сверточных уровнях сети к одномерному виду и выделение признаков на одномерном уровне. Данный слой также может использоваться в качестве последнего (выходного) слоя.

$$Y = \sum_i f(\omega z + b) \tag{4}$$

где  $Y$  и  $z$  — выходной вектор и входные признаки, а  $\omega$  и  $b$  вес и смещение соответственно.

При беглой оценке может показаться что при достаточном увеличении количества фильтров и слоев субдискретизации можно достичь необходимых результатов в оценке данных временного ряда, однако, результаты, производимые такими сетями, зависят от множества параметров, так, для CNN обученной методом градиентного спуска итоговая нелинейная модель анализа временного ряда будет зависеть от порядка данных в каждой эпохе, инициализации, скорости обучения и т.д.

В связи с этим более широкое распространение нашел подход, применяющий объединение таких сетей, обученных независимо, для получения агрегированного прогноза как элегантное решение для уменьшения обобщенной ошибки [7–9].

Основной принцип любой ансамблевой стратегии — взвесить несколько моделей и объединить их индивидуальные прогнозы для улучшения характеристик прогнозирования; в то время как ключевым моментом для эффективности ансамбля является то, что его компоненты должны характеризоваться точностью и разнообразием в своих предсказаниях [10]. Таким образом, комбинация прогнозов нескольких моделей добавляет смещение, которое, в свою очередь, противодействует дисперсии одной обученной модели. Следовательно, уменьшая дисперсию прогнозов, ансамбль моделей может работать лучше, чем любая наилучшая модель.

В литературе было предложено несколько стратегий для проектирования и разработки ансамбля регрессионных моделей. Наиболее эффективные и широко используемые стратегии: усреднение по ансамблю, сбор и суммирование.

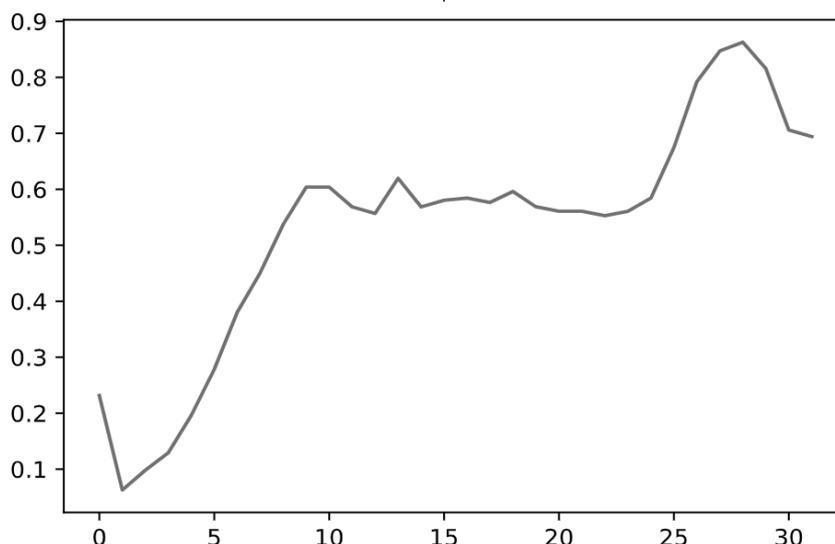


Рис. 4. Исходные данные для обучения

В рамках данной статьи для создания алгоритма рассмотрим подробнее стратегию усреднения выходных результатов по ансамблю.

При использовании данной стратегии общий принцип строится на том что каждая сверточная ИНС должна быть обучена с применением различных входных параметров, но общем входном наборе данных, иными словами при различной инициализации. Результатом такого обучения будет предиктор  $\phi_k$  — коэффициент, характеризующий будущее изменение контролируемого параметра. Таким образом при использовании подобного метода ансамблевого обучения мы получаем множество единичных предикторов с целью получения наилучшего  $\phi_a$  что и будет являться целью работы алгоритма по созданию сверточного ансамбля [11].

Алгоритм реализации ансамбля сверточных нейронных сетей по стратегии усреднения предикатов принимает следующий вид:

Определение основных параметров применяемых CNN моделей 1-N:

1. Размерность сверточного слоя;
  - a. Размерность слоя субдискретизации;
  - b. Уровень сети — количество пар скрытых слоев;
  - c. Определение количества подсетей;
 Данные параметры должны быть общими для всех подсетей ансамбля.
  - a. Формирование параметров входных слоев сетей;
  - b. Определение и нормализация размеров входного набора данных;
2. Ввод глубины слоя, обычно равному количеству взаимосвязей в наборе данных;

3. Ввод условий инициализации для каждой используемой CNN ансамбля;
4. Последовательная подготовка сверточных слоев подсетей;
5. Последовательная подготовка слоев субдискретизации подсетей;
6. Повтор пунктов 4–5 для каждого уровня сетей (см 1.с);
7. Выбор функции активации полносвязного слоя сетей;
8. Принятие решения о необходимости формирования отдельного выходного слоя для формирования предиктора подсети;
9. Независимое обучение подсетей;
10. Агрегация выходных предикторов в блоке усреднения;
11. Формирования итогового предиктора;
12. Оценка результата и ошибки;
13. Принятие решения о необходимых корректировках;

Рассмотрим результаты работы сверточного ансамбля нереккурентной нейронной сети сформированного с использованием данного алгоритма.

В качестве временного ряда использовались данные из открытых источников. Внешний вид среза, по одной эпохе и одному признаку, временного ряда, использовавшегося для обучения приведен на рис. 4.

Определим основные параметры общие для всех моделей CNN ансамбля:

1. Размерность сверточного слоя  $F = 2$ , Размерность слоя субдискретизации  $p = 1$ , уровень сети

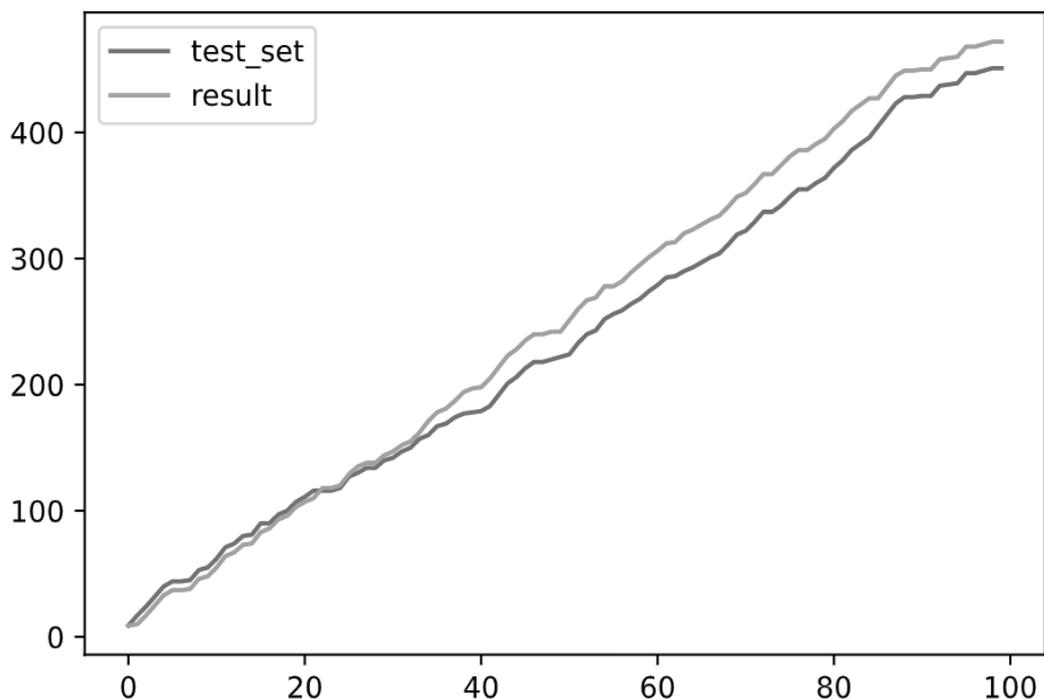


Рис. 5. Сверточная нейронная сеть. Сравнение тестовой последовательности и предсказания выхода нейросетью. Подсеть #1.  $s = 0.2417$

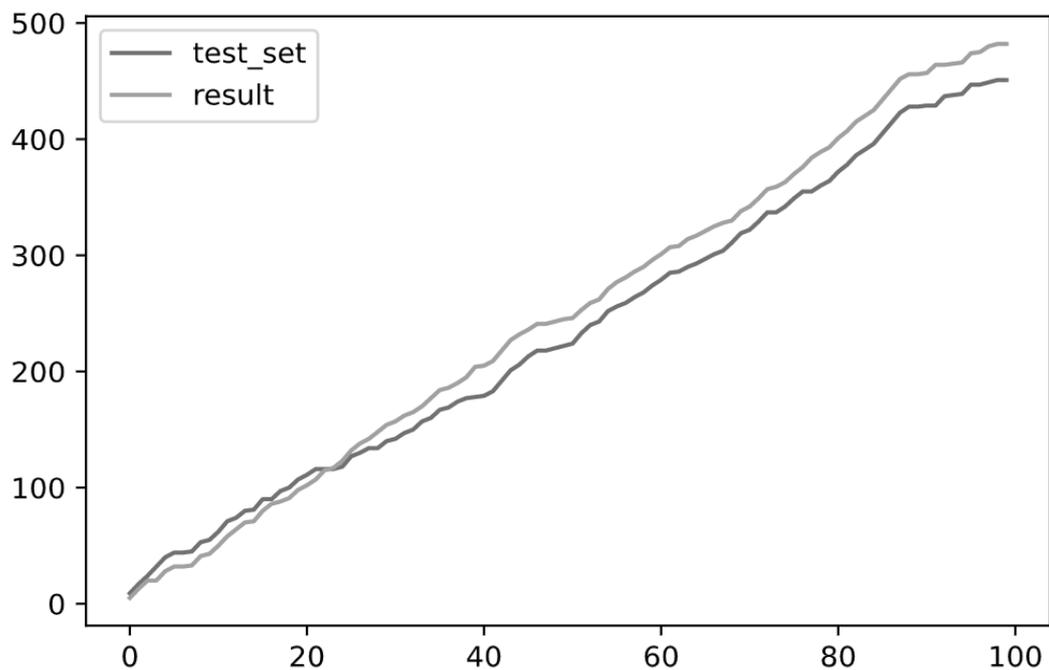


Рис. 6. Сверточная нейронная сеть. Сравнение тестовой последовательности и предсказания выхода нейросетью. Подсеть #2.  $s = 0.2815$

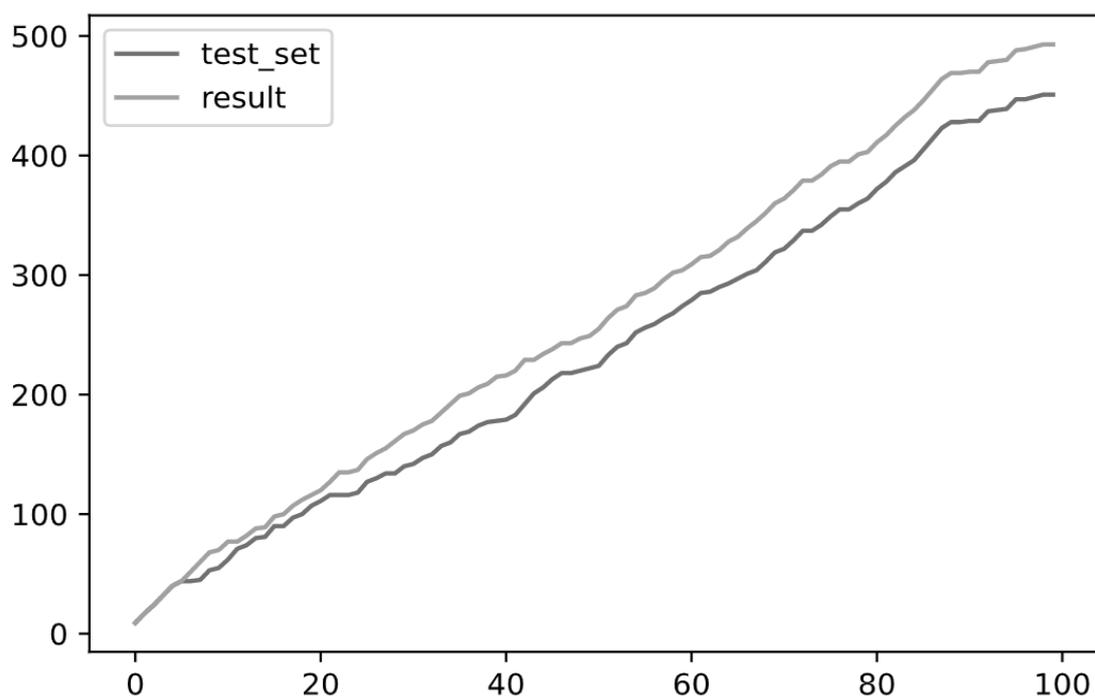


Рис. 7. Сверточная нейронная сеть. Сравнение тестовой последовательности и предсказания выхода нейросетью. Подсеть #3.  $s = 0.3287$

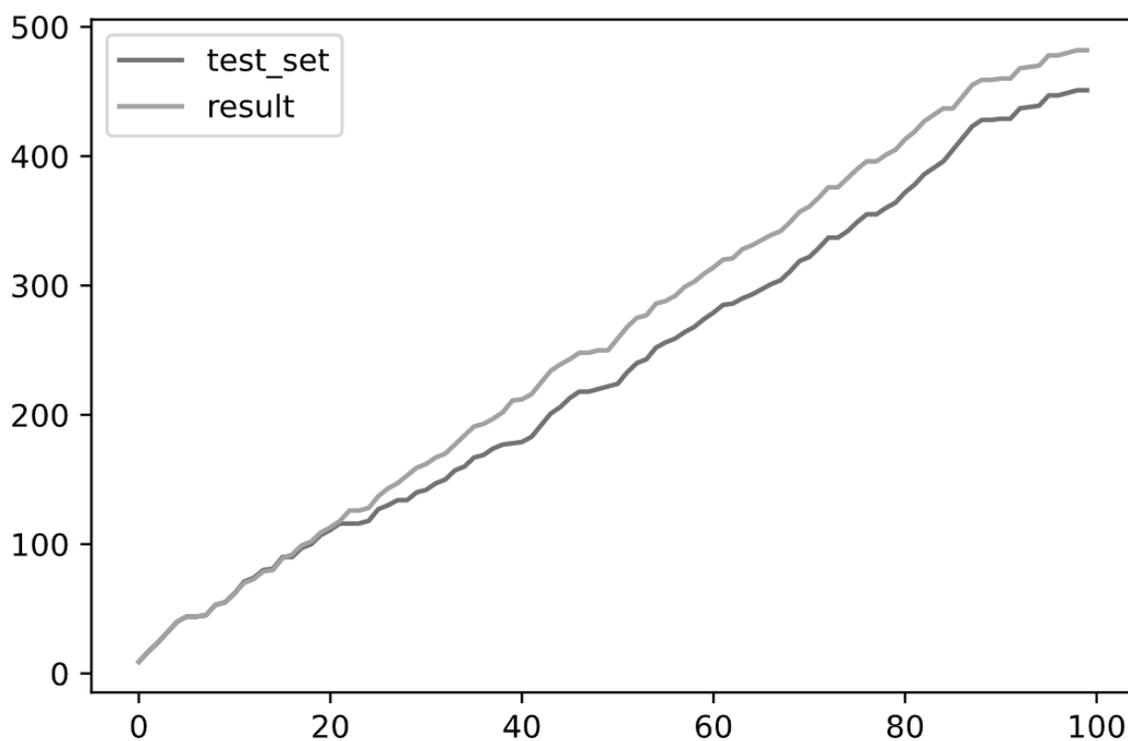


Рис. 8. Ансамбль сверточных нейронных сетей. Сравнение тестовой последовательности и предсказания выхода нейросетью.  $s = 0.2051$

принимаем равным  $n = 1$ , а количество подсетей  $N = 3$ .

2. Произведем подготовку входных данных. Принимаем глубину входного слоя  $D = 1$ , проводим нормализацию данных.
3. Произведем подготовку всех подсетей ансамбля исходя из указанных параметров из п. 1.
4. В качестве функции активации полносвязного слоя принимаем сигмоидную функцию:

$$AF_{fc} = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

где  $x$  — сигнал нейрона полносвязного слоя, полученный в результате взвешенного суммирования входных сигналов нейрона.

5. Усреднение будем проводить без весовых модификаций входных значений.

Далее итеративно, изменяя наиболее важные параметры сетей —  $F$  и  $n$  получим семейство результирующих графиков иллюстрирующих результаты работы отдельных нейросетей входящих в состав ансамбля (рис. 5–7) и ансамбля в целом (рис. 8). Для улучшения читаемости приводятся срезы графиков в наихудших отрезках. Суммарная ошибка предиктора,  $s$ , приведена на графиках.

Таким образом итеративное применение данного алгоритма с учетом коррекций, производимых в подсетях ансамбля, позволяет получить результат предсказания выходной величины временного ряда с наименьшей ошибкой относительно одиночной сверточной нейросети. Однако, формирование обучение подобных нейросетей может потребовать дополнительные временные ресурсы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. S. Mehtab, J. Sen, S. Dasgupta. Analysis and Forecasting of Financial Time Series Using CNN and LSTM-Based Deep Learning Models. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2011.08011> (дата обращения: 17.12.2020).
2. S. Mehtab and J. Sen, "A robust predictive model for stock price prediction using deep learning and natural language processing", In Proc. of the 7th International Conference on Business Analytics and Intelligence, Bangalore, India, 2019.
3. S. Mehtab and J. Sen, "Stock price prediction using convolutional neural network on a multivariate time series", In Proc. of the 3rd National Conference on Machine Learning and Artificial Intelligence (NCMLAI'20), New Delhi, India, 2020.
4. Livieris, I.E.; Pintelas, E.; Stavroyiannis, S.; Pintelas, P. Ensemble Deep Learning Models for Forecasting Cryptocurrency Time-Series. *Algorithms* 2020, 13, 121.
5. Livieris, I.E.; Pintelas, E.; Pintelas, P. A CNN-LSTM model for gold price time-series forecasting. *Neural Comput. Appl.* doi:10.1007/s00521-020-04867-x. Available online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-020-04867-x> (accessed on 20.12.2020).
6. Michelucci, U. *Advanced Applied Deep Learning: Convolutional Neural Networks and Object Detection*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2019.
7. Rokach, L. *Ensemble Learning: Pattern Classification Using Ensemble Methods*; World Scientific Publishing Co Pte Ltd.: Singapore, 2019.
8. Lior, R. *Ensemble Learning: Pattern Classification Using Ensemble Methods*; World Scientific: Singapore, 2019; Volume 85.
9. Zhou, Z. H. *Ensemble Methods: Foundations and Algorithms*; Chapman & Hall/CRC: Boca Raton, FL, USA, 2012.
10. Bian, S.; Wang, W. On diversity and accuracy of homogeneous and heterogeneous ensembles. *Int. J. Hybrid Intell. Syst.* 2007, 4, 103–128.
11. Chen, L. and G. Shakhnarovich. "Learning Ensembles of Convolutional Neural Networks." (2014).
12. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И. Д. Рудинского. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 344 с.: ил.

© Горелов Михаил Андреевич ( [misha\\_gorelov@mail.ru](mailto:misha_gorelov@mail.ru) ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОБНАРУЖЕНИЕ МАРКЕРА В ЦИФРОВОМ АУДИОСИГНАЛЕ АВТОРИЗОВАННЫМ ПОЛУЧАТЕЛЕМ<sup>1</sup>

**Гофман Максим Викторович**

К.т.н., доцент, Петербургский государственный  
университет путей сообщения Императора  
Александра I  
maxgof@gmail.com

## DETECTION OF MARKER IN DIGITAL AUDIO SIGNAL BY AUTHORIZED RECIPIENT<sup>2</sup>

**M. Gofman**

*Summary.* A method for robust watermarking of digital audio signals is being developed, focused on the transmission of watermarked audio signals in an air audio channel. Special attention is paid to the development of a method for detecting the presence of a watermark in a digital audio signal by an authorized receiver. The article contains the results of field experiments to assess the noiseproof of the transmission of watermarked audio signals through an air audio channel.

*Keywords:* audio signal, steganography, audio signal marking, air audio channel, communication noiseproof.

*Аннотация.* Разрабатывается метод устойчивого маркирования цифровых аудиосигналов, ориентированный на передачу маркированных аудиосигналов в условиях воздушного аудиоканала. Особое уделяется разработке метода обнаружения наличия маркера в цифровом аудиосигнале авторизованным получателем. Статья содержит результаты натурных экспериментов по оценке помехоустойчивости передачи маркированных аудиосигналов через воздушный аудиоканал.

*Ключевые слова:* аудиосигнал, стеганография, маркирование аудиосигналов, воздушный аудиоканал, помехоустойчивость связи.

## Введение

С ростом количества и доступности мобильных медиаустройств, смартфонов, цифровых диктофонов и других разнообразных инструментов вещания и записи акустических сигналов возникает задача создания методов маркирования аудиосигналов, способных помимо слуховой транспарентности (не слышимость) обеспечить устойчивость маркера, даже в условиях шумовой обстановки воздушного аудиоканала и возможных преднамеренных воздействий и преобразований, осуществляемых нарушителем над записанными, например, с помощью мобильных устройств, маркированными аудиосигналами.

Методы маркирования аудиоинформации и аудиосигналов в целом можно разделить на методы, работающие с временной областью сигнала и/или с областями преобразований [1, 2]. Методы цифрового маркирования аудиосигналов, ориентированные на передачу через воздушный аудиоканал, описаны в статьях [3, 4]. В них для передачи используется весь слышимый

диапазон, что обычно повышает устойчивость маркера. Однако, из-за того, что маркер внедряется путём полной замены фаз, то такой способ внедрения может оказывать значительное влияние на слышимость маркера. Кроме этого, так как внедрение выполняется во все коэффициенты преобразования, то это не позволяет использовать, например, их номера в качестве возможного ключа, который был бы известен только авторизованному приёмнику, и применялся им для выделения частей маркера только из тех коэффициентов, индексы которых составляют ключ.

Длительное время в системах связи используется ортогональное частотно-разделённое мультиплексирование или OFDM (от англ. orthogonal frequency division multiplexing). В работе [5] предлагается методика и система цифрового маркирования аудиосигналов, названная авторами системой «Dolphin», которая использует OFDM, и позволяет выполнять передачу информации маркированными аудиосигналами через воздушный аудиоканал. Система Dolphin выполняет внедрение маркера в диапазон частот от 8 кГц до 20 кГц. В системе Dolphin

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России (грант ИБ; Соглашение № 7/2020)

<sup>2</sup> The reported study was funded by Russian Ministry of Science (information security № 7/2020)

используется адаптивный метод маркирования, основанный на анализе распределения энергии в маркируемом аудиосигнале перед выбором метода модуляции аудиосигнала для каждого информационного пакета. Так как диапазон частот меньших 8 кГц не используется для внедрения маркера, то систему Dolphin нельзя отнести к тем, которые используют весь слышимый диапазон частот. Вследствие того, что внедрение выполняется по результатам энергетического анализа аудиосигнала, при этом сам исходный аудиосигнал обычно не известен получателю, то это затрудняет использование ключей, опираясь на которые авторизованный приёмник точно бы знал, какие части аудиосигнала будут содержать скрытую информацию.

В работе [6] предлагается методика цифрового маркирования аудиосигналов, которая также ориентирована на связь через воздушный аудиоканал. Её особенностью является то, что она предполагает передачу маркированных аудиосигналов между смарт-устройствами, обычно смартфонами. При передаче используется диапазон частот от 19.5 кГц до 22 кГц. Из-за того, что передача ведётся только в области высоких частот, близкой к ультразвуковому и отчасти ультразвуковому диапазону частот, то предъявляются особые требования к микрофонам и динамикам. По утверждениям авторов, эта методика позволяет выполнять передачу на расстоянии до 25 м.

В работе [7] предлагается система цифрового маркирования аудиосигналов, ориентированная на организацию связи на малых расстояниях до 10–15 см. Передача ведётся в частотном диапазоне от 6 кГц до 7 кГц. При этом окружающий шум используется в качестве скрывающего сигнала. Если уровень окружающего шума падает ниже определённого уровня, то передача прекращается в целях безопасности.

Таким образом, среди нерешённых задач остается следующая: допустимость внедрения в произвольные частотные составляющие при сохранении возможности слепого приема маркированных аудиосигналов. В этой статье разрабатывается метод маркирования цифровых аудиосигналов, предложенный в работах [8, 9]. Разрабатываемый метод ориентирован на обеспечение достаточной устойчивости маркирования при передаче маркированного аудиосигнала через воздушный аудиоканал. Особенностью разрабатываемого метода является возможность внедрения маркера в требуемые частотные составляющие маркируемого аудиосигнала, а также отсутствие необходимости приёмнику знать аудиосигнал, который был подвергнут маркированию. Таким образом появляется возможность реализации слепого приёма. Разработке подвергается та часть метода, с помощью которой вы-

полняется обнаружение маркера в сигнале, принятом из акустического канала.

### Обнаружение маркера

Предположим, что отправитель передал в воздушный акустический аудиоканал маркированный аудиосигнал, полученный в результате цифро-аналогового преобразования отсчетов цифрового маркированного аудиосигнала. Также будем предполагать, что маркирование выполнялось по методу, представленному в работе [8, 9], авторизованному получателю известны векторы  $\alpha, \beta, \gamma$ , использованные при создании маркера, множество номеров  $A_{НД}$ , использованных при внедрении маркера, частота дискретизации  $F_s$ , использованная отправителем, а также известна длина  $N_{блок}$  блока отсчетов, на которые выполнялись разбиение исходного цифрового аудиосигнала в процессе внедрения маркера.

С частотой дискретизации  $F_s$  выполним аналого-цифровое преобразование (ЦАП) сигналов, поступающих с выходов микрофона авторизованного получателя. Сформируем вектор из последовательности отсчетов цифрового сигнала, получаемого после ЦАП

$$\mathbf{r} = (r_1 \quad r_2 \quad \dots \quad r_{N_\alpha N_{блок} N_\gamma} \quad \dots),$$

где  $r_j$  — это  $j$ -й отсчет цифрового аудиосигнала, получаемого на основании выхода акустического микрофона. Значения отсчетов  $r_j$  лежат в диапазоне  $[-1, 1]$ . Далее описан предлагаемый процесс обнаружения наличия маркера в аудиосигнале, принятом акустическим микрофоном.

Процесс обнаружения маркера организован таким образом, что в нём выполняется считывание и анализ последовательностей из  $N_\alpha N_{блок} N_\gamma$  элементов цифрового сигнала  $\mathbf{r}$ . Обозначим величиной  $i_{шаг}(m)$  количественное значение «шага», на который смещено начало считанной последовательности относительно первого элемента вектора  $\mathbf{r}$ . В таком случае последовательность из  $N_\alpha N_{блок} N_\gamma$  элементов, смещённая относительно первого элемента строки на  $i_{шаг}(m)$ , может быть описана вектором

$$\hat{\mathbf{r}}(i_{шаг}(m)) = (r_{i_{шаг}(m)+1} \quad r_{i_{шаг}(m)+2} \quad \dots \quad r_{i_{шаг}(m)+N_\alpha N_{блок} N_\gamma}),$$

при этом  $i_{шаг}(m) \in \{0, 1, \dots\}$ .

Далее, вектор  $\hat{\mathbf{r}}(i_{шаг}(m))$  подвергается ряду преобразований. Вектор разделяется на непересекающиеся блоки по  $N_{блок}$  элементов в каждой. Каждый блок подвер-

гается дискретному преобразованию Фурье, в результате получаются блоки частотных составляющих спектра Фурье. Из каждого блока частотных составляющих выделяются те составляющие, номера которых совпадают с номерами из известного авторизованному получателю множества номеров  $A_{HJL}$ . У каждой выделенной частотной составляющей вычисляются амплитуды, а после этого натуральный логарифм от амплитуды. Таким образом, получается

$$D(i_{uaz}(m)) = \begin{pmatrix} D_{1,1}(i_{uaz}(m)) & \dots & D_{1,N_\alpha N_\beta}(i_{uaz}(m)) \\ D_{2,1}(i_{uaz}(m)) & \dots & D_{2,N_\alpha N_\beta}(i_{uaz}(m)) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ D_{N_\gamma,1}(i_{uaz}(m)) & \dots & D_{N_\gamma,N_\alpha N_\beta}(i_{uaz}(m)) \end{pmatrix},$$

в которой

$$D_{i,j}(i_{uaz}(m)) = \ln |f(i, j, \hat{r}(i_{uaz}(m)), A_{HJL})|,$$

где  $k \in \{1, 2, \dots, N_\alpha N_\gamma\}$ ,  $l \in \{1, 2, \dots, N_\beta\}$ ,  $\ln|a|$  — натуральный логарифм от абсолютного значения числа  $a$ . Здесь  $f$  обозначает необходимые преобразования, более детально представленные в статьях [8, 9].

Теперь вычислим коэффициент корреляции между принятыми данными и маркером, кодирующим значение 1. Для этого сначала вычислим вектор из скалярных произведений между столбцами матриц  $D(i_{uaz}(m))$  и вектором  $\gamma$ , получим вектор из  $N_\alpha N_\beta$  элементов. Потом, вычислим скалярные произведения между непересекающимися последовательностями из  $N_\beta$  элементов полученного вектора и вектором  $\beta$ , получим вектор

$$\hat{d}(i_{uaz}(m)) = (\hat{d}_1(i_{uaz}(m)) \ \hat{d}_2(i_{uaz}(m)) \ \dots \ \hat{d}_{N_\alpha}(i_{uaz}(m))).$$

Теперь выполним статистическое нормирование. Для этого определим сначала среднее арифметическое элементов вектора  $\hat{d}(i_{uaz}(m))$ , обозначенное как  $M(\hat{d}(i_{uaz}(m)))$ . Затем, вычислим скалярное произведение между вектором  $\hat{d}(i_{uaz}(m))$  и  $\alpha$ , при этом будут использоваться значения элементов вектора  $\hat{d}(i_{uaz}(m))$ , смещённые на среднее арифметическое

$$M(\hat{d}(i_{uaz}(m))).$$

Поделим это скалярное произведение на нормирующий коэффициент и получим вещественное число

$$\tilde{d}(i_{uaz}(m)) = \frac{\sum_{i=1}^{N_\alpha} \alpha_i (\hat{d}_i(i_{uaz}(m)) - M(\hat{d}(i_{uaz}(m))))}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_\alpha} (\alpha_i (\hat{d}_i(i_{uaz}(m)) - M(\hat{d}(i_{uaz}(m))))^2}}$$

Величина  $\tilde{d}(i_{uaz}(m))$  является нормированным коэффициентом корреляции между последовательностью отсчетов  $\hat{r}(i_{uaz}(m))$  и маркером, кодирующим число 1. Сама по себе случайная величина  $\tilde{d}(i_{uaz}(m))$  представляет собой сумму большого количества случайных величины, которые можно рассматривать как статистически слабо зависимые. Поэтому в соответствии с центральной предельной теоремой можно ожидать, что, когда в принятом сигнале маркера нет, случайная величина  $\tilde{d}(i_{uaz}(m))$  будет иметь стандартное нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией. Эти предположения были подтверждены результатами натуральных экспериментов.

Сформируем из величин  $\tilde{d}(i_{uaz}(m))$  вектор

$$\rho(i_{uaz}(m)) = (\rho_1(i_{uaz}(m)) \ \rho_2(i_{uaz}(m)) \ \dots \ \rho_{2W+1}(i_{uaz}(m))),$$

в котором

$$\rho_i(i_{uaz}(m)) = \tilde{d}(w(i_{uaz}(m), i)),$$

$$\text{где } w(i_{uaz}(m), i) = i_{uaz}(m) + i - 1,$$

при этом  $W$  — это заранее определённое положительное целое число. В качестве значения  $W$  полезно использовать достаточно большое значение, кратное  $N_{\text{блок}} N_\gamma$ . Таким образом, вектор  $\rho(i_{uaz}(m))$  представляет собой результат обработки последовательности векторов

$$\hat{r}(i_{uaz}(m)), \dots, \hat{r}(i_{uaz}(m) + 2W).$$

Процесс обнаружения состоит из двух этапов. На первом этапе определяется множество смещений

$$\{i_{uaz}(m), i_{uaz}(m) + 1, \dots, i_{uaz}(m) + 6W\}$$

относительно момента начала записи, среди которых имеется начало сигнала, содержащего маркер. На втором этапе в этом множестве выполняется поиск начала сигнала, содержащего маркер.

По каждому вектору из последовательности векторов  $\rho(i_{uaz}(m)), \dots, \rho(i_{uaz}(m) + 2W)$  вычислим коэффициент эксцесса и получим вектор

$$\mu(i_{шаг}(m)) = (\mu_1(i_{шаг}(m)) \quad \mu_2(i_{шаг}(m)) \quad \dots \\ \dots \quad \mu_{2W+1}(i_{шаг}(m))).$$

У стандартного нормального распределения коэффициент эксцесса  $\mu_j(i_{шаг}(m)) = 3$ . Таким образом, чем сильнее элементы вектора  $\rho(w(i_{шаг}(m), j))$  похожи на элементы выборки значений случайной величины, имеющей стандартное нормальное распределение, тем ближе значение  $\rho(w(i_{шаг}(m), j))$  к числу 3.

Теперь вычислим пик-факторы по каждому вектору из последовательности векторов

$$\mu(i_{шаг}(m)), \dots, \mu(i_{шаг}(m) + 2W)$$

и сформируем из этих пик-факторов вектор

$$\zeta(i_{шаг}(m)) = (\zeta_1(i_{шаг}(m)) \quad \zeta_2(i_{шаг}(m)) \quad \dots \\ \dots \quad \zeta_{2W+1}(i_{шаг}(m))),$$

в котором

$$\zeta_k(i_{шаг}(m)) = \frac{\max\{\mu(i_{шаг}(m))\}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{2W+1} (\mu_i(w(i_{шаг}(m), k)))^2}{2W+1}}},$$

где

$$k \in \{1, 2, \dots, 2W+1\}, w(i_{шаг}(m), k) = i_{шаг}(m) + k - 1.$$

Для стандартного нормального распределения пик-фактор равен 1, так как для такого распределения и числители, и знаменатели этих дробей будут равны 3.

Первый этап завершается успешно, если выполняются два условия:

должно выполняться равенство

$$\zeta_{W+1}(i_{шаг}(m)) = \max\{\zeta_1(i_{шаг}(m)), \dots, \zeta_{2W+1}(i_{шаг}(m))\},$$

то-есть центральный элемент вектора  $\zeta(i_{шаг}(m))$  должен быть максимальным среди всех элементов этого вектора. Отметим, что все элементы вектора  $\zeta(i_{шаг}(m))$  — это положительные числа.

должно выполняться неравенство

$$\zeta_{W+1}(i_{шаг}(m)) > \zeta_{порог},$$

то-есть величина этого центрального элемента должна превосходить некоторый порог, который сам превосходит 1.

Если эти условия не выполняются для текущего значения  $i_{шаг}(m)$ , то это значение увеличивается на 1 и первый этап начинается заново.

Второй этап начинается, если успешно завершён первый этап. Начиная второй этап, найдём в векторе  $\rho(i_{шаг}(m) + 4W)$  порядковые номера элементов, для которых один или оба смежных элемента будут иметь противоположные знаки. Знание этих порядковых номеров укажет на границы положительных и отрицательных последовательностей значений элементов вектора  $\rho(i_{шаг}(m) + 4W)$ . Как только будут определены «границы» положительных и отрицательных последовательностей, найдём отношения «площадей» под/над кривыми (по методу трапеций), образуемыми элементами этих последовательностей, к числу слагаемых «площадей». Выберем ту последовательность, «площадь» которой окажется максимальной. Позиция максимального по абсолютному значению элемента в этой последовательности будет использоваться в качестве указателя на начало сигнала, содержащего маркер. Обозначим номер этой позиции — так  $i_{начало}(m)$ . Это значит, что маркированный сигнал в цифровом сигнале, принятом с помощью акустического микрофона авторизованного получателя, будет начинаться с отсчета, имеющего порядковый номер  $i_{начало}(m)$ , и занимать  $N_\alpha N_{блок} N_\gamma$  отсчетов цифрового сигнала.

### Результаты натуральных экспериментов

В качестве акустического микрофона использовался 4-х капсульный микрофон AKG Lyra в режиме Tight Stereo (фронтальная стереозапись), а в качестве акустического динамика использовался один динамик из пары Edifier R1280DB.

В качестве вектора  $\alpha$  использовалась последовательность Касами длиной  $N_\alpha = 255$ , в качестве вектора  $\beta$  использовалась последовательность Голда длиной  $N_\beta = 127$ . Вектор  $\gamma$  имел длину  $N_\gamma = 8$  и удовлетворял следующему равенству:

$$\gamma = (1 \quad -1 \quad 1 \quad 1) \otimes (1 \quad -1),$$

где  $\otimes$  — это оператор кронекерова произведения. Размер блока отсчетов, на

$$N_{блок} = 2(N_\beta + 1) = 256.$$

При таких значениях параметров маркера и частоте дискретизации  $F_s = 44100$  Гц передача маркера займёт

$$\frac{N_{\alpha} N_{\text{блок}} N_{\gamma}}{F_s} \cong 11.8(c),$$

Значение для величины  $W$  было взято равным 4096.

В качестве музыкальной композиции для внедрения маркера использовалось песня «This Moment» музыкальной рок-группы «In This Moment»; эта композиция характеризуется помимо низкочастотных составляющих наличием еще и мощных высокочастотных составляющих.

Множество номеров частотных составляющих, использованных для внедрения элементов маркера в блок, было одним и тем же для всех блоков отсчетов маркируемого цифрового аудиосигнала, при этом использовались все частотные составляющие блоков, кроме постоянной составляющей. Силы встраивания элементов маркера были одинаковыми для всех частотных составляющих и равнялись 0.1. Такое значение силы встраивания обеспечивало отсутствие слышимых искажений аудиосигнала после внедрения маркера в сравнении с аудиосигналом без маркера. В качестве порогового значения пик-фактора использовалось значение 1.15. Усиление сигналов производилось с помощью усилителей динамика и микрофона. Каждый из них оказывал влияние, помимо усиления полезного сигнала, и на усиление шума. Для оценки передачи в целом использовалось отношение среднего значения амплитуд отсчетов принятого цифрового маркированного аудиосигнала к среднему значению амплитуд отсчетов переданного цифрового маркированного аудиосигнала. Для оценки шума использовалось среднее значение амплитуд постороннего акустического сигнала, записанного вне времени вещания динамиком маркированного аудиосигнала, но в тех же условиях передачи, в которых осуществлялось вещание маркированного аудиосигнала.

Микрофонный усилитель в AKG Lyra был настроен на максимальное значение усиления поступающего сигнала. Усиление в динамике менялось от 4 до 9 делений из 50 возможных делений по шкале усилителя мощности, встроенного в динамики Edifier R1280DB. Динамик и микрофон находились в области прямой видимости на расстоянии 3 метров друг от друга. Натурные эксперименты показали, что при таком расстоянии между динамиком и микрофоном, когда отношение среднего значения амплитуд отсчетов принятого цифрового маркированного аудиосигнала к среднему значению амплитуд отсчетов переданного цифрового маркированного аудиосигнала становилось больше  $-12$  дБ, тогда вероятность ошибки обнаружения маркера в принятом аудиосигнале была меньше  $10^{-6}$ , а вероятность восстановления информации при отсутствии ошибки обнаружения маркера была меньше  $10^{-3}$ . Таким образом, можно ожидать, что разработанный метод обеспечивает вероятность удачной передачи информации маркированными аудиосигналами не меньше  $1 - 10^{-9}$ . Величина вероятности ошибки обнаружения оценивалась, исходя из общего числа отсчетов в принятом маркированном цифровом аудиосигнале, а вероятность восстановления информации после удачного обнаружения маркера оценивалась на основании величины  $W$ .

## Заключение

В статье была продолжена разработка метода маркирования аудиосигналов, начатая в работах [8, 9]. Предложен метод обнаружения маркера в аудиосигнале и метод выделения информации, внедрённой в маркированный аудиосигнал. Практическая работоспособность этого метода была подтверждена результатами натурных экспериментов передачи маркированных аудиосигналов через воздушный акустический канал в условиях значительного постороннего акустического шума.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шелухин О. И., Канаев С. Д. Стеганография. Алгоритмы и программная реализация: Под редакцией проф. Шелухина О. И. — Москва: Горячая линия-Телеком. — 2017. — 592 с.
2. Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография. — Москва: СОЛОН-ПРЕСС. — 2009. — 272 с.
3. Yun H. S., Cho K., Kim N. S. Acoustic data transmission based on modulated complex lapped transform // IEEE Signal Processing Letters. — 2010. — Т. 17. — №. 1. — С. 67–70.
4. Cho K., Baek S., Moon H. G., Kim N. S. Multi-microphone approach for reliable acoustic data transmission // 2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE). — IEEE. — 2016. — С. 557–560.
5. Zhou M., Wang Q., Ren K., Koutsonikolas D., Su L., Chen Y. Dolphin: Real-time hidden acoustic signal capture with smartphones // IEEE Transactions on Mobile Computing. — 2018. — Т. 18. — Вып 3. — С. 560–573.
6. Lee H., Kim T. H., Choi J. W., Choi S. Chirp signal-based aerial acoustic communication for smart devices // 2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM). — IEEE. — 2015. — С. 2407–2415.
7. Nandakumar R., Chintalapudi K. K., Padmanabhan V., Venkatesan R. Dhvani: secure peer-to-peer acoustic NFC // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. — 2013. — Т. 43. — №. 4. — С. 63–74.

8. Гофман М. В. Методика скрытой передачи данных при связи через воздушный аудиоканал // Труды СПИИРАН. — 2017. — Вып. 2. — С. 97–122.
9. Гофман М. В., Корниенко А. А., Мирончиков Е. Т., Никитин А. Б. Цифровое маркирование аудиосигналов для робастной скрытой акустической связи через воздушный аудиоканал // Труды СПИИРАН. — 2017. — Вып. 6. — С. 185–215.

---

© Гофман Максим Викторович ( [maxfog@gmail.com](mailto:maxfog@gmail.com) ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



# АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОППОЗИТНЫМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

## ALGORITHM FOR ADAPTIVE CONTROL OF OPPOSED EXECUTIVE SYSTEMS WITH VARIABLE STRUCTURE

*Yu. Zhdanova*

*Summary.* The article considers the specifics of solving control problems for special-design group-driven Executive systems used in anthropomorphic grippers. The necessary equipment of output links for building a closed control system is determined.

*Keywords:* anthropomorphic gripper, adaptive control, output links, group drive, closed system.

**Жданова Юлия Ильдаровна**

Старший преподаватель, МИРЭА — Российский технологический университет  
musrosjk@gmail.com

*Аннотация.* Рассмотрена специфика решения задач управления исполнительными системами с групповым приводом используемые в антропоморфных захватах. Определены необходимое оснащение выходных звеньев для построения замкнутой системы управления.

*Ключевые слова:* антропоморфный захват, адаптивное управление, выходные звенья, групповой привод, замкнутая система.

### Введение

Особенностью робототехники XXI века является создание комплексов способных функционировать совместно и на равных с человеком [1]. Для этого в них обеспечиваются возможности присущие по кинематическим и силовым характеристикам человеку. Такие комплексы выделены в отдельный класс — антропоморфные роботы (АР). Под АР следует понимать сложную техническую систему, элементы которой обладают функциональными возможностями свойственным аналогичным отделам тела человека. Данная формулировка позволяет формализовать технические характеристики, определяющие в полной мере, как комплекс в целом, так и составляющие ее элементы. Базовым элементом любого робота является захват. Для реализации действий аналогичных кисти человека захват должен быть антропоморфным. Это позволит взаимодействовать с внешними объектами (ВО) не детерминированной формой поверхности. Возможности антропоморфного захвата (АЗ) формируются его структурной схемой характеризуемой числом: параллельных исполнительных систем (ИС) — от трех до пяти [2–4], выходных звеньев в каждой ИС — два, три звена [5–6], реализуемых степеней подвижности в каждой ИС — от двух до четырех [7–9]. При двух и более числе ИС по крайней мере одна из них выступает в качестве оппозитной остальным [10–11].

Кисть руки человека имеет 15 фаланг и обладает 20 степенями подвижности. Реализовать подобное решение в захвате достаточно сложно. АЗ созданный совмест-

но NASA и General Motors для Robonaut 2 имеет пять параллельных ИС с 20 степенями подвижности [12]. Движение обеспечивается 16 двигателями, размещенными на звене манипулятора. Такое решение привело к увеличению его габаритов, и как следствие снижение его функциональных возможностей. Кроме того, необходимость обеспечения согласованного управления движением значительного числа выходных звеньев привело к резкому усложнению системы управления приводами.

Необходимость уменьшения размеров и массы приводов АЗ привело к формированию принципиально нового подхода к построению системы обеспечения движения звеньев ИС. Сформировался переход от индивидуального привода по каждой степени подвижности, к групповому приводу. Исключение кинематической зависимости движения звеньев, присущее групповому приводу, обеспечивается за счет технических решений основанных на: построении специальных систем передачи движения (СПД), реализации адаптивного управления движением выходными звеньями [13–15].

### Постановка задачи исследования

Движение звеньев ИС с групповым приводом и адаптивным управлением кардинально отличается от реализуемых в системах с индивидуальным приводом. Один двигатель обеспечивает поочередным поворотом звеньев ИС, начиная с проксимального. При этом процесс взаимодействия ИС с ВО происходит изменение ее структурной схемы [16]. Каждое последующее звено ИС становится выходным при остановке предшествую-

Таблица 1. Идентификация вариантов удержания ВО

Вариант взаимодействия (рис. 1)	параметров ИС			Управляемый параметр при удержании	Объект управления
	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$h_i$		
1	2	3	4	5	6
	+	0	$h_2$	$R_2$	Звено 2
б	+	$\varphi_{2К}$	$h_1$	$R_1$	Звено 1
с	+	+	$h_1, h_2$	$R_2$	Звено 2
д	$\varphi_{1К}$	+	$h_2$	$R_2$	Звено 2

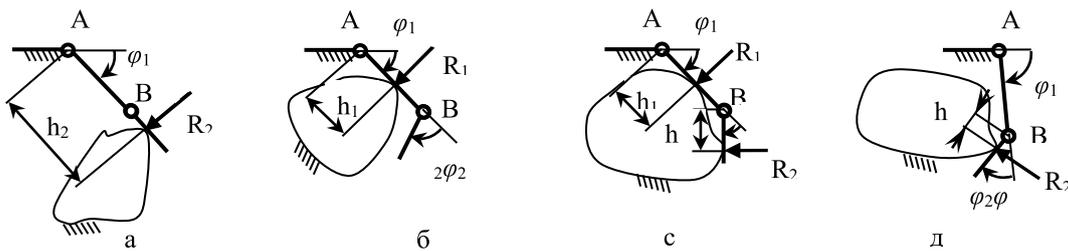


Рис. 1. Варианты взаимодействия звеньев ИС на стадии удержания ВО

щего звена на ВО, или достижения им предельного угла относительного поворота  $\varphi_{iК}$ .

В ИС с тремя звеньями последовательно реализуется три варианта структурных схем с одной степенью подвижности. В первом выходным является проксимальное звено, во втором — медиальное, в третьем — дистальное. В каждый момент времени объектом управления являются только одно звено.

Для ИС с двумя выходными звеньями возможно два варианта структурных схем. С движением только первого звена, а по достижению им поверхности ВО — движение второго. После успешной реализации фирмой Robotiq A3 с двумя оппозитными ИС, каждая из которых имеет два звена [17], интерес к такому варианту захвата со стороны потенциальных потребителей существенно вырос. Это в значительной мере обусловлено использованием АЗ в коллаборативных роботах [18], ориентированных на работу с ограниченной гаммой ВО. Реализованные системы управления обеспечивают захват и держание ВО имеющих симметричные формы и располагающиеся вдоль центральной оси АЗ. Управление захватом при взаимодействии с ВО недетерминированной поверхностью остается не решенной проблемой.

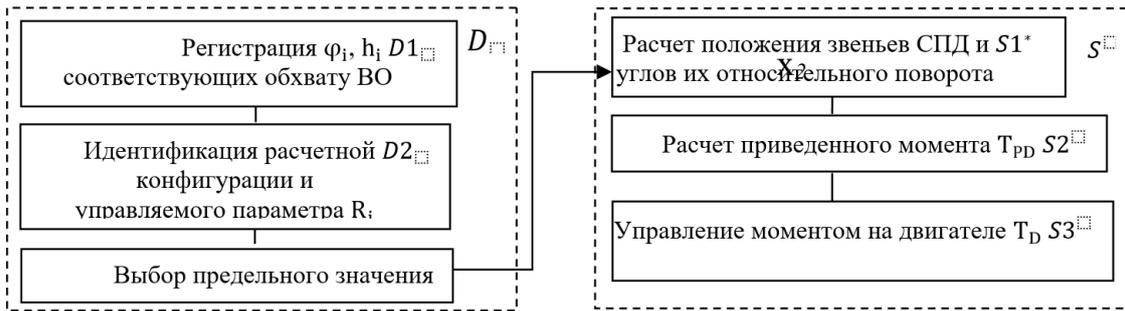
Процесс взаимодействия ИС с недетерминированным ВО разделяется на стадии: обхват, удержание [16]. Отдельно следует выделить стадию освобождения ВО. Специфика группового привода с адаптивным управлением определяет прерывание контакта звеньев в обрат-

ной последовательности: от дистального к проксимальному и не требует специального алгоритма управления.

На стадии обхвата обеспечивается последовательное достижение всеми выходными звеньями ИС поверхности ВО. При этом силовое воздействие выходных звеньев на ВО незначительно и определяется сопротивлением движению в кинематических парах ИС. На стадии удержания относительное движение выходных звеньев в кинематических парах отсутствует. За счет двигателя создается контролируемое усилие со стороны выходных звеньев на ВО. Характер силового взаимодействия звеньев в пределах каждой ИС на стадии удержания зависит от используемой СПД.

Алгоритм управления приводами при взаимодействии с зафиксированным ВО

Алгоритм управления приводами ИС зависит от наличия подвижности ВО. При отсутствии возможности его смещения под действием усилий со стороны выходных звеньев алгоритм управления приводом каждой из ИС является независимым. ИС имеет звенья 1 и 2, соединенные вращательной парой В (рис.1). Звено 1 образует пару А с основанием. Оси вращательных пар А и В параллельны. На стадии обхвата объектами управления являются звенья, последовательно начиная с проксимального, а управляемыми параметрами — углы относительного поворота звеньев  $\varphi_i$ . Управление осуществляется без обратной связи. На стадии удержания объект



$S1^*$  — выполнение расчетов определяется схемой исполнения СПД

Рис. 2. Блок-схема управления выходным параметром  $R_i$

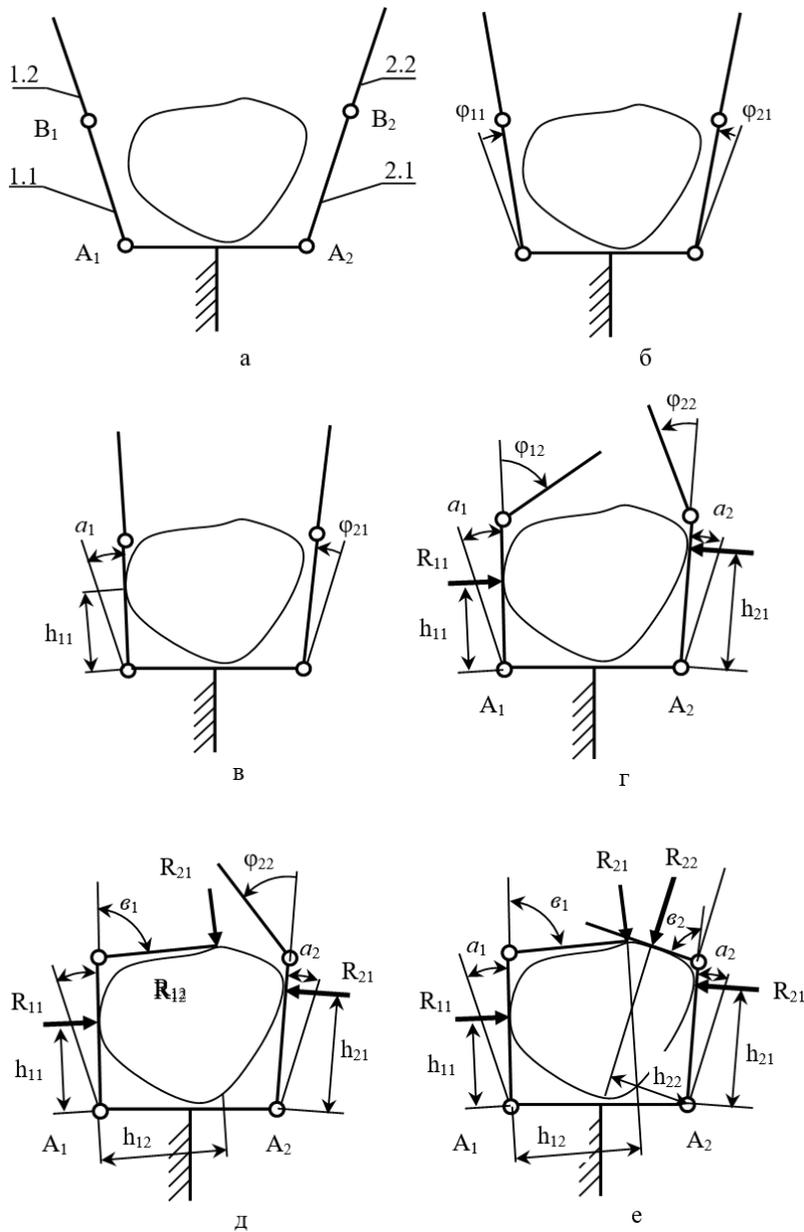


Рис. 3. Этапы обхвата звеньями ВО

Таблица 2. Последовательность реализации обхвата и удержания ВО оппозитными ИС (рис. 3)

Параметры состояния	Этапы обхвата и удержания внешнего объекта				
	I	II	III	IV	V
Состояние звеньев	$\varphi_{11} \neq 0, \varphi_{12} = 0$ $\varphi_{21} \neq 0, \varphi_{22} = 0$	$\varphi_{11} = a_1, \varphi_{12} = 0$ $\varphi_{21} \neq 0, \varphi_{22} = 0$	$\varphi_{11} = a_1, \varphi_{12} \neq 0$ $\varphi_{21} = a_2, \varphi_{22} = 0$	$\varphi_{11} = a_1, \varphi_{12} = b_1$ $\varphi_{21} = a_2, \varphi_{22} \neq 0$	$\varphi_{11} = a_1, \varphi_{12} = b_1$ $\varphi_{21} = a_2, \varphi_{22} = b_2$
Объект управления	Звено 1.1, Звено 2.1	Звено 2.1	Звено 1.1, Звено 1.1	Звено 1.2	Звено 1.2 Звено 1.2
Момент на валу двигателя	$T_{PD1,I} = k_1 * T_{1,I}$ $T_{PD2,I} = k_2 * T_{2,I}$	$T_{PD1,II} = 0$ $T_{PD2,II} = T_{PD2,I}$	$T_{PD1,III} = f(R_{11}) = c$ $T_{PD2,III} = T_{PD2,II}$	$T_{PD1,IV} = c,$ $T_{PD2,IV} = d$	$T_{PD1,V} = e,$ $T_{PD2,V} = z$
Управляемый параметр	$\varphi_{11}$ $\varphi_{21}$	$\varphi_{21}$	$R_{11}$ $T_{PD2,III}$	$R_{21}$ $T_{PD1,IV}$	$R_{12}$ $R_{22}$
Схема взаимодействия	Рис.3, б	Рис.3, в	Рис.3, г	Рис.3, д	Рис.3, е
Процесс	Обхват				Удержание

$k_1$  и  $k_2$  — коэффициенты пропорциональности моментов  $T_{1,I}$  и  $T_{PD1,I}$

управления определяется вариантом взаимодействия выходных звеньев и ВО.

Всего возможно четыре варианта взаимодействия звеньев ИС с неподвижным недетерминированным ВО. Каждый вариант характеризуется исключительным сочетанием углов относительного поворота звеньев  $\varphi_i$  и положением точки контакта  $h_i$  (табл.1). Это позволяет идентифицировать вариант взаимодействия. В столбцах 1 и 2 символом «+» отображается наличие угла поворота, простановка  $\varphi_{iK}$  соответствует достижению звеном предельного угла поворота определяемого конструкцией ИС.

Идентификация варианта удержания ВО позволяет определить:

- ♦ объект управления;
- ♦ условия, формирующие зависимость управляемого параметра от относительного положения звеньев ИС.

Процедура определения момента на двигателе выполняется в два этапа. На первом (часть D блок — схемы рис. 2) фиксируются численные значения углов  $\varphi_i$  определяющие конфигурацию ИС. Выделяется объект управления — звено, создающее усилие  $R_i$  на поверхности ВО. Выбирается предельное значение  $[R]$  исходя из задания на взаимодействие с ВО и рассчитываются моменты в кинематических парах. Действия, выполняемые на первом этапе, не зависят от используемого варианта построения СПД и определяются только параметрами ИС и положением ВО относительно АЗ.

На втором этапе (часть S блок — схемы) выполняется расчет величины приведенного момента к валу двигателя  $T_{PD}$  в функции зарегистрированных значений  $\varphi_i, h_i$  управляемого параметра  $R_i$  и конструктивных особенностей используемой СПД. Управление двигателем выполняется на основе сравнения значения  $T_{PD}$  и текущего значения момента реализуемого на двигателе. В свою очередь зна-

чение момента на двигателе сравнивается с допустимым  $[T_{PD}]$ , рассчитанным по величине предельно допустимого усилия воздействия на ВО  $[R]$ , и так же приведенного к двигателю. На этапе удержания управления осуществляется по замкнутой системе управления, обратная связь осуществляется опосредованно по величине  $R_i$ .

Для реализации алгоритма управления движением выходных звеньев необходимо оснащение вращательных пар энкодерами, а выходные звенья датчиками регистрации положения точек контакта.

Алгоритм управления приводами при взаимодействии с не зафиксированным ВО

Алгоритм управления приводами, при взаимодействии оппозитных ИС и ВО способным смещаться под действием звеньев, существенно отличается от предыдущего варианта. На рисунке 3 отображены этапы обхвата звеньями ИС поверхности ВО подвижного в плоскости параллельной изображению.

Первая ИС имеет выходные звенья 1.1 и 1.2 образующие вращательные пары  $A_1$  и  $B_1$ . Углы относительного поворота в них соответственно  $\varphi_{11}$  и  $\varphi_{12}$  (рис. 3). Аналогично вторая, оппозитная ИС имеет звенья 2.1 и 2.2, пары  $A_2$  и  $B_2$ , и углы относительного поворота  $\varphi_{21}$  и  $\varphi_{22}$ .

Обхват ВО реализуется в четыре этапа. Для каждого характерным является оригинальное движение звеньев и величина необходимого момента. Исходное положение ВО относительно ИС представлено на рис. 3, а.

На первом этапе приводы обеспечивают одновременное изменение углов  $\varphi_{21}$  и  $\varphi_{22}$ . Объектами управления являются звенья 1.1 и 2.1. Моменты создаваемые приводами в парах  $A_1$  и  $A_2$ , соответственно  $T_{1,1}$  и  $T_{2,1}$ , определяются сопротивлением движению в подвижных

соединениях (табл. 2). На двигателях создаются моменты, соответственно  $T_{PD1.I}$  и  $T_{PD2.I}$ . Зависимости между моментами на двигателях и моментами в кинематических парах  $A_i$  линейные.

$$T_{PD1.I} = k_1 \times T_{1.I}, T_{PD2.I} = k_2 \times T_{2.I} \quad (1)$$

Это обусловлено отсутствием относительного движения звеньев СПД. Управление параметрами  $\varphi_{11}$  и  $\varphi_{21}$  реализуется по разомкнутой системе. Этап завершается достижением любым из звеньев, 1.1 или 2.1, поверхности ВО. Например, звеном 1.1 (рис. 3, в). Положение точки контакта —  $h_{11}$ , фиксируется датчиком, установленным на рабочей поверхности звена, а угол поворота  $\varphi_{11} = a_1$  энкодером. Привод первой ИС останавливается.

На втором этапе продолжается движение звена 2.1. Изменяется угол  $\varphi_{21}$ . Величина момента  $T_{PD2.II}$  сохраняется равной окончанию первого этапа  $T_{PD2.I}$ . Этап заканчивается при достижении звеном 2.1 поверхности ВО. Фиксируется положение точки контакта  $h_{21}$  и угла поворота  $\varphi_{21} = a_2$ . Управление двигателем реализуется без обратной связи.

На третьем этапе (рис. 3, г) приводы ИС обеспечивают движение соответственно звеньев 1.2 и 2.2. При этом происходит относительное движение звеньев СПД в обеих ИС. Величина моментов, создаваемых на двигателях, определяется исходя из обеспечения неизменности положения ВО. Условие выполняется при равенстве моментов относительно соответственно точек  $A_1$  и  $A_2$  создаваемых действием звеньев 1.1 и 2.1 на ВО

$$R_{11} \times h_{11} = R_{21} \times h_{21}. \quad (2)$$

Выполняется следующая процедура. Сравниваются значения моментов на приводах соответствующие окончанию первого этапа  $T_{PD1.I}$  и  $T_{PD2.I}$ . При равенстве моментов выполнение условия (2) обеспечивается изначально. Движение звеньев реализуется при постоянных величинах моментов.

Если один из моментов превышает другой, например, при  $T_{PD2.I} > T_{PD1.I}$ , то рассчитывается усилие  $R_{11}$ , необходимое для соблюдения условия (2) по зависимости

$$R_{11} = \frac{(T_{PD2.I}/k_2)}{h_{11}}. \quad (3)$$

Наиболее конструктивным является контроль создаваемой величины  $R_{11}$  опосредовано, по величине момента приведенного к валу двигателя. В данном примере  $T_{PD1.III} = f(R_{11})$ . Реализуется замкнутая система управления, при которой регистрируется момент на одном двигателе —  $T_{PD2.III}$ , а по его величине рассчитывается и регулируется момент на двигателе оппозитной ИС. При

этом используется алгоритм, представленный в случае обхвата неподвижного ВО.

Управляемым параметром замкнутой системы на данном этапе является: момент  $T_{PD2.III}$ , и усилие  $R_{11}$  контролируемое через момент  $T_{PD1.III}$ . Аналитические зависимости для расчета приведенного момента  $T_{PD1.III}$  определяются конструкцией СПД.

Третий этап завершается достижением вторым звеном одной из ИС поверхности ВО. Например, звеном 1.2 (рис. 3, д), что регистрируется контактом в точке характеризуемой плечом  $h_{12}$  относительно точки  $A_1$ . Зависимости между моментами, приведенными к валу двигателя, и в кинематических парах являются нелинейными.

На четвертом этапе движение в первой ИС отсутствует, при этом на двигателе создается момент соответствующий окончанию третьего этапа  $T_{PD1.III} = c$ . Привод второй ИС обеспечивает движение звена 2.2. При этом усилие реализуемое звеном 2.1 должно создавать момент в кинематической паре  $A_2$  равный по величине тому, что создается силами  $R_{11}$  и  $R_{12}$  в паре  $A_1$ .

$$R_{21} \times h_{21} = R_{11} \times h_{11} + R_{12} \times h_{12} \quad (4)$$

Из последнего соотношения следует, что двигатель второй ИС должен обеспечить усилие  $R_{21}$  равное

$$R_{21} = \frac{(R_{11} \times h_{11} + R_{12} \times h_{12})}{h_{21}} \quad (5)$$

Знаки слагаемых в выражении (5) определяются по направлению момента создаваемого силами относительно точки  $A_1$ .

Далее выполняется процедура приведения силы  $R_{21}$  к валу двигателя  $T_{PD2.IV} = f(R_{21})$ .

Этап завершается при достижении звеном 2.2 ВО.

На четвертом этапе реализуется замкнутая система управления. Управляемым параметрами являются  $T_{PD1.IV}$  и  $R_{21}$ .

Если третий этап завершается более ранним достижением звеном 2.2 ВО, то последовательность расчетов на четвертом этапе аналогична. При этом  $T_{PD2.IV} = d$ , а

$$R_{12} = \frac{(R_{21} \times h_{21} + R_{22} \times h_{22})}{h_{12}} \quad (6)$$

и  $T_{PD1.IV} = f(R_{21})$ .

На этапе удержания (рис. 3, е) должно обеспечиваться уравнивание моментов создаваемых действием звеньев оппозитных ИС на ВО

$$R_{11} \times h_{11} + R_{12} \times h_{12} = R_{21} \times h_{21} + R_{22} \times h_{22} \quad (7)$$

Из соотношения (7) определяется величина  $R_{22}$  обеспечивающая неизменное положение ВО

$$R_{22} = \frac{(R_{11} \times h_{11} + R_{12} \times h_{12} - R_{21} \times h_{21})}{h_{22}} \quad (8)$$

Далее усилие  $R_{22}$  приводится к моменту на валу двигателя  $T_{PD2.V} = f(R_{22})$ . Момент на валу первой ИС сохраняется равным предшествующему этапу  $T_{PD1.V} = T_{PD1.IV}$ . Объектами управления являются звенья 1.2 и 2.2, управляемыми параметрами  $R_{12}$  и  $R_{22}$ .

Особенность построения СПД с групповым приводом и адаптивным управлением является то, что при полном обхвате ВО объектом управления становится дистальное звено. В связи с этим при достижении звеньями 1.2 и 2.2 поверхности ВО силовое воздействие  $R_{12}$  и  $R_{22}$  определяемое величиной момента предшествующему возникновению контакта вторых звеньев ИС.

### Управления приводами при подъем ВО

При подъеме ВО, для преодоления массовых сил, воздействие выходных звеньев на него должно быть увеличено. Следует принять  $\max R_{12} = [R]$ . В этом выражении левая часть есть большое из значений  $R_{12}$  определенное на этапе удержания. На оппозитном выходном звене, имеющем меньшую величину  $R_{12}$ , ее значение определяется из соблюдения соотношения  $R_{12}/R_{22}$  соответствующее этапу удержания.

### Заключение

Изложенный алгоритм адаптивного управления оппозитными ИС с групповым приводом является общим и не зависит от варианта построения СПД. В основе

выполняемой последовательности действий используется принцип стабильности положения ВО. На этой основе выполняется определение усилий на выходных звеньях и соответствующих моментов в кинематических парах. Определение приведенных моментов к выходному валу привода основывается на специфике построения конкретной СПД и значениях углов относительного поворота звеньев зафиксированных на этапе обхвата. Для реализации изложенного алгоритма ИС должны быть оснащены энкодерами, фиксирующими углы относительного поворота звеньев, а выходные звенья датчиками регистрирующими положение точки контакта.

### Реферат

Антропоморфные захваты с групповым приводом и адаптивным управлением обеспечивают взаимодействие с ВО при числе двигателей меньшем числа выходных звеньев. За счет переменности структуры ИС обеспечивается последовательное движение ее выходных звеньев от одного двигателя. Особенностью взаимодействия оппозитных ИС с ВО является перекрестная зависимость управления приводами. В качестве основы построения алгоритма управления двигателями при обхвате и удержании ВО принято отсутствие его смещения под действием выходных звеньев.

Выделены характерные этапы процесс обхвата и удержания ВО. В пределах каждого из них определены объекты управления и зависимости для расчета момента на приводе. Для обеспечения замкнутой системы управления необходима установка энкодеров в кинематические пары и датчиков для определения положения точки контакта на звеньях. Предложенный алгоритм позволяет формализовать процедуру формирования программы управления приводами оппозитных ИС с групповым приводом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Сорокин В. Г. Вариант состава и структурной схемы базового блока автономного антропоморфного робота космического исполнения // Пилотируемые полеты в космос. — 2017. № 1 (22). С. 68–64.
2. Carbone G., González A. A numerical simulation of the grasp operation by LARM Hand IV: A three finger robotic hand. Robot. Comput. Integr. Manuf. 2011. 27. Pp.450–459.
3. Butterfaß J., Grebenstein M., Liu H., Hirzinger G. 2001. DLR-Hand II: Next Generation of a Dextrous Robot Hand. Proceedings of Intl Conf on Robotics and Automation (ICRA), Seoul; pp. 109–114.
4. Fukaya N., Toyama S., Asfour T., Dillmann R. Design of the TUAT/Karlsruhe humanoid hand.
5. Telegenov K., Tlegenov Y., Shintemirov A. An underactuated adaptive 3D printed robotic gripper. 2014 10th France-Japan/ 8th Europe-Asia Congress on Mechatronics (MECATRONICS2014- Tokyo), Tokyo, 2014, pp. 110–115. doi: 10.1109/MECATRONICS.2014.7018563
6. Mitsui K, Ozawa R, Kou T (2013) An under-actuated robotic hand for multiple grasps. In: International conference on robots and system (IROS), Tokyo, pp 5475–5480.
7. Chen X., Zhang W. COSA-ET finger: A coupled and self-adaptive underactuated robot finger with double springs and an empty-trip mechanism. 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Qingdao, 2016, pp. 539–543. doi: 10.1109/ROBIO.2016.7866378

8. Ren Z., Zhou C., Xin S., Tsagarakis N., "HERI hand: A quasi dexterous and powerful hand with asymmetrical finger dimensions and under actuation," 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Vancouver, BC, 2017, pp. 322–328
9. Badger J., Gooding D., Ensley K., Hambuchen K., and Thackston A. A Case study on Robonaut 2 ROS in Space The Complete Reference 1 343–73 Doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26054-9>
10. Yang Y., Zhang W., Xu X., Hu H., Hu J. (2017) LIPSA Hand: A Novel Underactuated Hand with Linearly Parallel and Self-adaptive Grasp. In: Zhang X., Wang N., Huang Y. (eds) Mechanism and Machine Science. ASIAN MMS2016, CCMMMS2016. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 408. Springer, Singapore
11. Kang L., Seo J.-T., Kim S.-H., Kim W.-J., Yi B.-J. Design and Implementation of a Multi-Function Gripper for Grasping General Objects. Appl. Sci. 2019, 9, 5266. <https://doi.org/10.3390/app9245266>
12. Bridgwater L. B., Ihrke C. A., Diftler M. A., Abdallah M. E., Radford N. A., Rogers J. M., Yayathi S., Askerw R. S., Linn D. M. The Robonaut 2 Hand — Designed To Do Work With Tools. NASA & General Motors. 2012. pp. 1–2
13. Bandara D. S. V., Gopura R. A. R. C., Hemapala K. T. M. U., Kiguchi K. (2017). Development of a multi-DoF transhumeral robotic arm prosthesis. Medical Engineering and Physics, 48, 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2017.06.034>
14. Kobayashi A., Yamaguchi K., Kinugawa J., Arai S., Hirata Y., Kosuge K. Analysis of precision grip force for uGRIPP (underactuated gripper for power and precision grasp), 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Vancouver, BC, 2017. pp. 1937–1942.
15. Адаптивный привод группы звеньев захвата: пат. 185794 Рос. Федерация № 2018100908/09; заявл. 10.01.18; опубл. 19.12.18, Бюл. № 35. 5 с.
16. Bogdanov A, Permyakov A and Zhdanova Yu (2018) Synthesis of structural scheme of drive of adaptive multiple-link gripper MATEC Web of Conf. 161 03009. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816103009>
17. Choi M.-S., Lee D.-H., Park H., Kim Y.-J., Jang G.-R., Shin Y.-D., Park J.-H., Baeg M.-H., Bae J.-H. Development of multi-purpose universal gripper // Proc. of the 56th Annual Conf. of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE). 2017. <https://doi.org/10.23919/SICE.2017.8105739>.
18. Mathiassen K, Fjellin JE, Glette K, Hol PK and Elle OJ (2016) An Ultrasound Robotic System Using the Commercial Robot UR5. Front. Robot. AI3:1. <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00001>

© Жданова Юлия Ильдаровна ( musrosjk@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



МИРЭА — Российский технологический университет

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА С РЕЗУЛЬТАТАМИ РАСЧЕТА ПО ПРЕДЛОЖЕННОЙ МЕТОДИКЕ

**Милуков Павел Александрович**

Преподаватель, Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск  
Pavel-milukov@mail.ru

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE STUDY A COMPUTER MODEL OF A SOLAR COLLECTOR WITH CALCULATION RESULTS BY THE PROPOSED METHOD

**P. Milyukov**

*Summary.* With the help of the SolidWorks numerical simulation program (SW), a series of analyses was performed in the Flow Simulation program module using the finite element method. The aim of the work was to compare the results of calculating the mathematical model according to the proposed method with the results of the analysis carried out in SW Flow Simulation. All initial data and results of calculations and analysis of the model are presented in tables. The analysis showed results close to the results of the mathematical model, it should be emphasized that the increase in efficiency depends on the properties of materials used in the design of solar collectors. The analysis did not take into account the external environment (cloud cover). The horizontal position of the solar collector contributed to the fact that solar radiation was received by the SC for a longer time. The specified time interval in the experiment is from 12.00 to 15.00 hours.

*Keywords:* solar collector, heat transfer, model, solar radiation, thermal conductivity, analysis.

*Аннотация.* С помощью программы численного моделирования SolidWorks (SW) было проведена серия анализов в модуле программы Flow Simulation методом конечных элементов. Целью работы являлось, сравнить результаты расчета математической модели по предложенной методике, с результатами анализа, проводимого в SW Flow Simulation. Все исходные данные и результаты проводимых подсчетов, и анализа над моделью, представлены в таблицах. Анализ показал результаты близкие к результатам математической модели, нужно подчеркнуть, что повышение КПД зависит от свойств материалов, используемых в проектировании солнечных коллекторов. В анализе не учитывалась внешняя среда (облачность). Горизонтальное положение солнечного коллектора способствовало тому, что солнечное излучение принималось СК в течение большего времени. Заданный временной отрезок в эксперименте с 12.00 до 15.00 часов.

*Ключевые слова:* солнечный коллектор, теплообмен, модель, солнечное излучение, теплопроводностью, анализ.

Одним из наиболее эффективных приборов, преобразующих солнечную энергию, является солнечный коллектор, который преобразовывает солнечное излучение в тепловую энергию для использования в коммунальных и бытовых нуждах населения. Может использоваться как основной или дополнительный нагреватель в системе горячего водоснабжения.

Предлагаемое конструкционное решение плоского солнечного коллектора (ПСК) упрощенно (рис. 1).

1. Корпус (алюминий,  $\delta=2$  мм);
2. Стекло с высокой пропускной способностью;
3. Стекло с высокой пропускной способностью;
4. Абсорбер (медь) с покрытием, имеющим высокое светопоглощение;

Таблица 1. Общие характеристики

Название	Параметры
Общая площадь	2.42 м <sup>2</sup>
Рабочая площадь	2.15 м <sup>2</sup>
Длина	2.226 мм
Ширина	1.084 мм
Высота	112 мм
Объем змеевика коллектора	0.42 л
Материал абсорбера	Cu
Вес (пустой)	≈43 кг
Проходное сечение патрубков	23 мм
Толщина ударопрочного стекла	3.2 мм
Пропускная способность стекла	91%
Абсорбция	95%
Эмиссия	5%

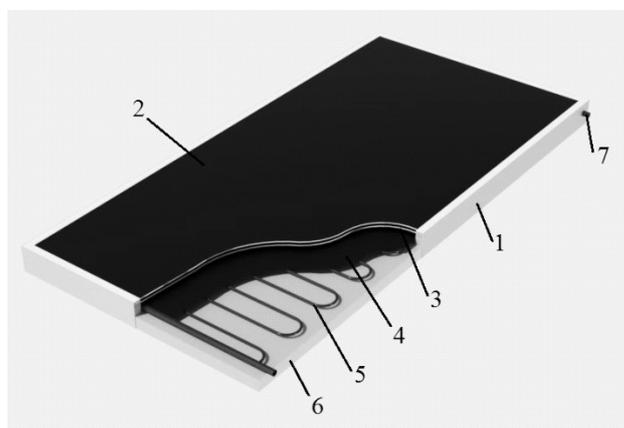


Рис. 1. Общий вид солнечного плоского коллектора

- 5. Теплоотводящая трубка коллектора (медь, Ø9 мм);
- 6. Теплоизоляция (50 мм);
- 7. Магистраль (медь, Ø23 мм).

Заявленная конструкция солнечного коллектора представлена по индивидуальным размерам, содержащая корпус, в котором размещен поглощающий элемент с хорошей теплопроводностью, абсорбер, представляющий собой лист металла. Абсорбер связан с теплопроводящей системой в виде трубчатого змеевика, и плотно прилегает к боковой теплоизоляции (слева, справа) для уменьшения конвективного теплообмена между абсорбером и внутренним стеклом. Также в конструкцию входит прозрачный элемент (два закаленных стекла с высокой пропускной способностью, с расстоянием друг от друга 11.8 мм). Внутри корпуса размещена термостойкая вспененная теплоизоляция с малой теплопроводностью.

Модель солнечного термального коллектора основана на системе балансовых уравнений тепловых потоков в коллекторе, возникающих из-за поступления солнеч-

ного излучения в коллектор, отвода тепла теплоносителем и рассеяния (потерь) тепла в окружающее пространство.

Количество тепла, поступающего от солнечного излучения через двойное остекление коллектора, определяется соотношением

$$Q_{солн} = qSt \tag{1}$$

где:  $q, Вт/(м^2 \cdot с)$  — тепловой поток, попадающий на пластину термального солнечного коллектора;

$S = ab, м^2$  — площадь пластины ( $a, b$  — длина и ширина пластины соответственно);

$t, с$  — время нагрева пластины.

Величина теплового потока с учетом эффектов пропускания, отражения и поглощения теплового излучения при прохождении через двойное остекление определяется соотношением (при отсутствии поглощения излучения остеклением)

Таблица 2. Исходные данные для расчета

Наименование, характеристики	15.07	
	На 12:00	На 15:00
1. Геометрические характеристики солнечного коллектора (рабочая площадь) А). Высота, $a$ , м Б). Ширина, $b$ , м В). Площадь, $m^2$ $S=a \cdot b$	2,1125 1,020 2,15475	
2. Общее время инсоляции $\tau$ , с	10 800	10 800
3. Внутренний диаметр трубопровода $d$ , м	0,009	
4. Массовый расход теплоносителя (вода), G, кг/с $G=V/\tau$	0,006944444 (25/3600)	0,006944444
5. Характеристики теплоизоляционного материала А). Материал Б). Толщина $\delta_{изол}$ , м	вспененный каучук, термический 0,05	
6. Характеристики стекла А). Тип Б). Толщина, $\delta_{ст}$ , м	Боросиликатное, закаленное, структурированное, 0,0032	
7. Характеристика воздушной прослойки А). 1 толщина $\delta_{возд}$ , м Б). 2 толщина $\delta_{возд}$ , м	0,0118 0,0207	
8. Характеристики пластины коллектора А). Тип Б). Толщина, м В). Температура плавления, $K$	Cu 0,026 1356,2	

Таблица 3. Табличные данные для расчета

Наименование, характеристики	15.07	
	На 12:00	На 15:00
1. Характеристики стекла: А). $R$ — коэффициент отражения защитного стекла Б). Средняя величина Источник данных: [5], [6], [7]	0,0987	0,0804
2. Среднемесячная температура воздуха, $t$ , °C Источник данных: [8]	+21,1	
3. Характеристики теплоносителя: А). Тип Б). Удельная теплоемкость $c$ , Дж/(кг·град)	Вода ≈ 4200	
5. Характеристики теплоизоляционного материала А). Теплопроводность $\lambda$ , Вт/(м·К) Источник данных: [9]	0,033	
6. Характеристики стекла А). Теплопроводность $\lambda$ , Вт/(м·К) Источник данных: [10]	0,142	
7. Характеристика воздушной прослойки А). Теплопроводность $\lambda$ , Вт/(м·К) Б). Теплопроводность $\lambda$ , Вт/(м·К) Источник данных: [11]	0,0268 0,3238	
8. Характеристики пластины коллектора А). Коэффициент поглощения пластины $\epsilon$ термального коллектора, $A$ Источник данных: [5]	0,95	
9. Плотность теплового потока солнечного излучения, $q_{солн}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·с) Источник данных: [12]	878	

Таблица 4. Результаты расчета

Наименование характеристики	Для 15.07	
	На 12:00	На 15:00
1. Количество тепла, поступающего от солнечного излучения $Q_{\text{солн}} = qS\tau$ (Формула 1) Средняя величина	16,3 · 10 <sup>6</sup>	
2. Величина теплового потока, $Bm/(m^2 \cdot c)$ $q = q_{\text{солн}} \cdot (1-R)^2 \cdot (1+R2) \cdot A$ (Формула 2) Средняя величина	696,3130	709,9281
3. Тепловые потери в солнечном термальном коллекторе вследствие собственного излучения $Q_{\text{изл. коллект}} = S\sigma t_{\text{коллектора}}^4 \tau (1 - RA)$ (Формула 3)	1698,170683	
4. Тепловые потери вследствие механизма теплопроводности через остекление (включая имеющиеся воздушные зазоры) $Q_{\text{остекл}} = S \cdot \frac{t_{\text{коллектора}} - t_{\text{окр}}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \tau$ , (Формула 4)	2,57 · 10 <sup>5</sup>	
5. Тепловые потери вследствие механизма теплопроводности через теплоизолирующую подложку с обратной стороны коллектора $Q_{\text{изол}} = S \frac{\lambda_{\text{изол}} \cdot (t_{\text{коллектора}} - t_{\text{окр}})}{\delta_{\text{изол}}} \tau$ , (Формула 5)	1,24 · 10 <sup>5</sup>	
6. Количество тепла, передаваемое теплоносителем за время работы коллектора $Q_{\text{теплоносителя}} = Q_{\text{солн}} - Q_{\text{изл. коллект}} - Q_{\text{остекл}} - Q_{\text{изол}}$ (Формула 6)	1,56 · 10 <sup>7</sup>	
7. Повышение температуры теплоносителя при работе коллектора, $\Delta t = \frac{Q_{\text{теплоносителя}}}{G_{\text{тс}}}$ , (Формула 7)	49,8	
8. Характеристики пластины коллектора. Коэффициент поглощения пластины $\epsilon$ термального коллектора, $A$	0,95	

$$q = q_{\text{солн}} (1-R)^2 (1+R^2) A, \quad (2)$$

где:  $q_{\text{солн}}$   $Bm/(m^2 \cdot c)$  — плотность теплового потока солнечного излучения;

$R$  — коэффициент отражения защитного стекла;

$A$  — коэффициент поглощения пластины термального коллектора.

Коэффициенты отражения и поглощения для различных материалов приводятся в справочной литературе [1]. Плотность теплового потока солнечного излучения для заданных географической широты и климатических условий определяется по справочным таблицам [2, 3].

Тепловые потери в солнечном термальном коллекторе вследствие собственного излучения коллектора и механизма теплопроводности через двойное остекление (включая имеющиеся воздушные зазоры) и теплоизолирующую подложку с обратной стороны коллектора определяются следующими соотношениями:

$$Q_{\text{изл. колл}} = S\sigma t_{\text{колл}}^4 \tau (1 - RA), \quad (3)$$

где:  $\sigma = 5,67 \cdot 108$  — постоянная Стефана–Больцмана;  
 $t_{\text{колл}}$  — температура пластины коллектора,

$$Q_{\text{остекл}} = S \cdot \frac{t_{\text{коллектора}} - t_{\text{окр}}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \tau, \quad (4)$$

Таблица 5. Постановка задачи в Flow Simulation

Входные данные		
Общие настройки	Заданные параметры	
Тип задачи	Внешняя: Теплопроводность в твердых телах; Радиационный теплообмен: <b>Солнечное излучение</b> <b>Определено место положение и время г. Хабаровска</b> Нестационарность Гравитация	+21,1 48°29' 6:00:00
Текущая среда	Вода, газы	
Материал	Заданы свойства материалов	Корпус Утеплитель
Изначальные условия	Давление 101325 <i>Па</i> Начальная $t_0$ °C	
Граничные условия	Массовый расход на входе Давление окружающей среды	25 л/ч 101325 <i>Па</i>
Поверхности радиационного теплообмена	Абсорбер	95%
Цели	Температура окружающей среды, твердого тела	
Сетка	Ручная настройка	2.336.629 ячеек
Опции управления расчетом		
Условия завершения	Сходимость целей Итерации	112
Настройка шага	Шаг по времени Длительность	1800 <i>s</i> 56 <i>ч</i>
Прочее	Положение СК Физическое время расчета	Горизонтальное 5,52 <i>ч</i>

где:  $t_{колл}$  и  $t_{окр}$ , °C — температуры пластины коллектора и окружающей среды соответственно;

$\delta_i$ , м — толщины стекол и воздушных прослоек в термальном коллекторе;

$\lambda_i$ , Вт/(м·К) — теплопроводности стекла и воздуха (считаются постоянными в рабочем диапазоне температур термального коллектора) и

$$Q_{изол} = S \frac{\lambda_{изол} (t_{колл} - t_{окр})}{\delta_{изол}} \tau, \quad (5)$$

где:  $\delta_{изол}$ , м — толщина теплоизолирующего материала в термальном коллекторе;

$\lambda_{изол}$ , Вт/(м·К) — теплопроводность теплоизолирующего материала (считается постоянной в рабочем диапазоне температур термального коллектора).

Таким образом, количество тепла за время работы коллектора, передаваемое теплоносителю определяется соотношением:

Результаты анализа в SolidWorks

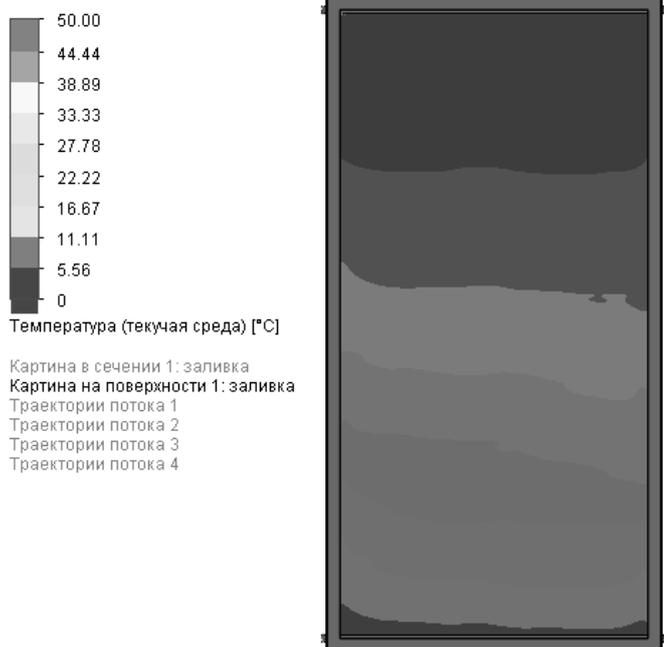


Рис. 2. Температура пластины

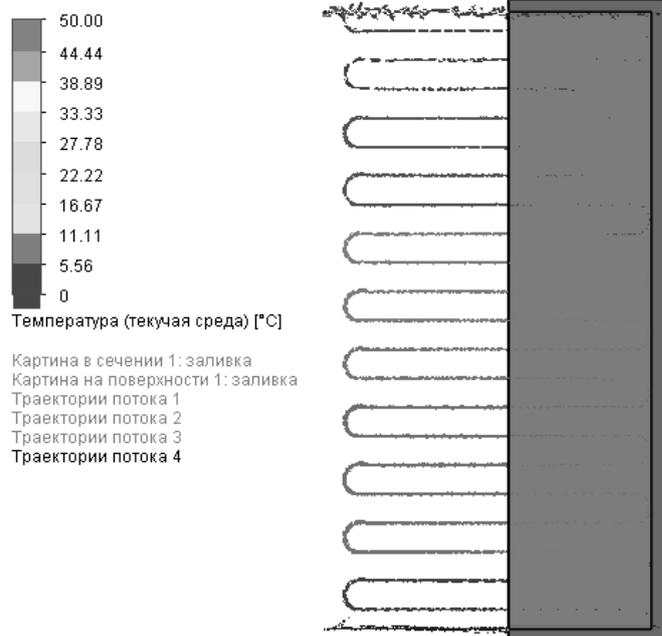


Рис. 3. Движение текучей среды

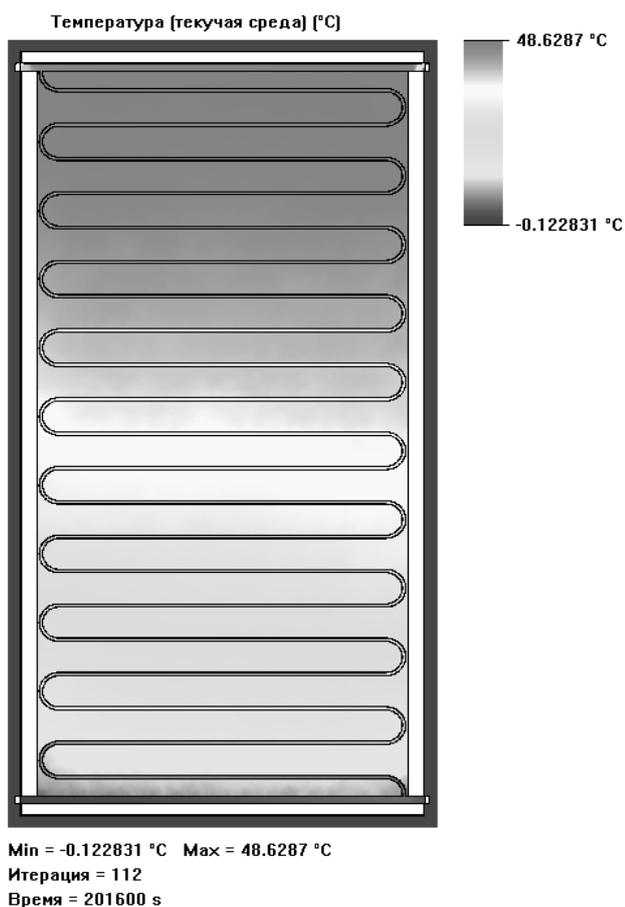


Рис. 4. Температура

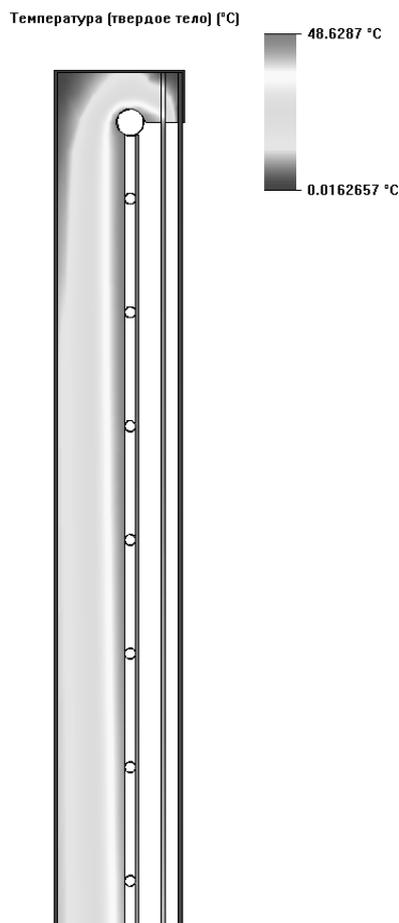


Рис. 5. Температура (текучая среда) (твердое тело)

Таблица 6. Локальные параметры

Локальный параметр пластины			
Локальный параметр	Минимум	Максимум	Среднее
Температура (твердое тело) [°C]	4,939504443	48,62872591	34,42176794
Локальный параметр воды			
Локальный параметр	Минимум	Максимум	Среднее
Удельная теплоемкость (Cp) [J/(kg*K)]	4179,500003	4219,582819	4183,645835
Температура (текучая среда) [°C]	0,119372754	48,4281393	32,48898814
Локальный параметр внешнего стекла			
Локальный параметр	Минимум	Максимум	Среднее
Коэффициент теплоотдачи [W/m <sup>2</sup> /K]	0,008215388	14,58069146	3,75664214
Температура (твердое тело) [°C]	0,061489707	4,832941766	0,491262188
Коэффициент теплопроводности текучей среды [W/(m*K)]	0,024376999	0,563771968	0,29318266
Локальный параметр внутреннего стекла			
Локальный параметр	Минимум	Максимум	Среднее
Коэффициент теплоотдачи [W/m <sup>2</sup> /K]	0,000768257	191067,9059	24,58125877
Температура (твердое тело) [°C]	0,064710923	47,79497836	31,34859404
Коэффициент теплопроводности текучей среды [W/(m*K)]	0,024659668	0,640923022	0,323476248

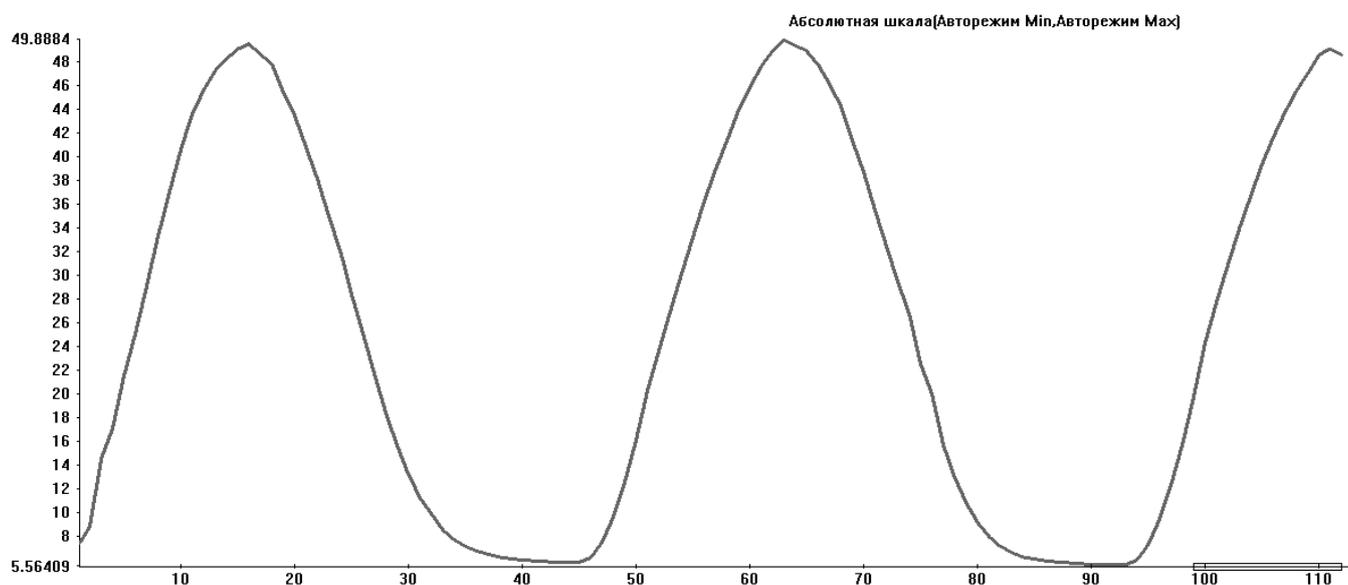


Рис. 6. Динамика температуры теплоносителя

$$Q_{\text{теплон}} = Q_{\text{солн}} - Q_{\text{изл колл}} - Q_{\text{ост}} - Q_{\text{изол}} \quad (6)$$

Повышение температуры теплоносителя при работе солнечного термального коллектора определяется следующим соотношением

$$\Delta t = \frac{Q_{\text{теплон}}}{G \cdot c} \tau, \quad (7)$$

где:  $G$ , кг/с — массовый расход теплоносителя;

$c$ , Дж/(кг·град) — удельная теплоемкость теплоносителя.

Следовательно, на стационарном режиме работы температура коллектора будет превышать температуру окружающей среды на величину, определяемую соотношением: [4].

$$dQ_{x1} = dQ_x - dQ_{x+dx} \quad (8)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 23–10–2004. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование тепловой защиты зданий.
2. СНиП 23–01–99. Строительные нормы и правила. Строительная климатология.
3. Идельчик, И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик. — М.: Машиностроение, 1983. — 559 с.
4. Карташев, А.Л., Сафонов, Е.В., Карташева, М. А. Разработка математической модели установки автономного теплообеспечения на основе солнечного теплового коллектора. // Вестник ЮУрГУ, № 34, 2011– с. 61–68. [Электронный ресурс] режим доступа: <https://elibrary.ru/>
5. Коэффициент отражения ( $\rho$ ,%) при различных углах падения для стекла и воды. [Электронный ресурс] режим доступа: <https://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/LightAndColor/FactorReflection/>
6. Азимут и высота солнца над горизонтом [Электронный ресурс] режим доступа: <https://planetcalc.ru/320/>
7. Географические координаты Хабаровска [Электронный ресурс] режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/>
8. Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С. РФ. Хабаровский край, [Электронный ресурс] режим доступа: <https://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/>
9. Таблица теплопроводности материалов [Электронный ресурс] режим доступа: <https://termoizol.com/polnaya-tablitsa-teploprovodnosti-razlichnyh-stroitelnyh-materialov.html>
10. Теплопроводность и плотность стекла, свойства фарфора, фаянса, хрусталя [Электронный ресурс] режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/keramika-i-steklo>
11. Теплопроводность воздуха в зависимости от температуры и давления [Электронный ресурс] режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-gazov/gazovye-smesi/>
12. СНиП 23–01–99. Таблица 4 — Суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная) на горизонтальную поверхность при безоблачном небе. МДж/м<sup>2</sup>. РФ в зависимости от месяца и географической широты. 40–68° с.ш. [Электронный ресурс] режим доступа: <https://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/Climate/>

© Милуков Павел Александрович (Pavel-milukov@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Тихоокеанский государственный университет

# АНАЛИЗ СИСТЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕНАЖЕРНОГО ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО КОМПЛЕКСА ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

## ANALYSIS OF THE MATHEMATICAL SUPPORT SYSTEM OF THE TRAINING HUMAN-MACHINE COMPLEX OF AC CONTROL SYSTEMS' SEMIREALISTIC SIMULATION

**S. Mitrofanov  
S. Rybnikov**

*Summary.* Structure, composition and operation of a human-computer training complex of AC control systems' semirealistic simulation are briefly described. The equations of motion of the aircraft are given. Parallel programming models UPC, MPI, and the combined UPC+MPI model are described. The results of the analysis of the performance of these models are presented.

*Keywords:* aviation trainer, parallel computing, UPC, MPI.

**Митрофанов Сергей Юрьевич**

Аспирант, ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

seymitrofanov@mai.ru

**Рыбников Сергей Игоревич**

Д.т.н., ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

*Аннотация.* Кратко описывается состав, структура, работа тренажерного человеко-машинного комплекса полунатурного моделирования СУ ЛА. Приводятся дифференциальные уравнения движения ЛА для построения математической модели воздушного судна. Описываются модели параллельного программирования UPC, MPI и объединенная модель UPC+MPI. Приводятся результаты анализа производительности данных моделей.

*Ключевые слова:* авиационный тренажер, параллельное программирование, UPC, MPI.

### Введение

**А**виационный тренажер (АТ) представляет собой технически сложную систему, использующую технологии моделирования для разработки и тестирования систем авионики самолета, а также безопасной подготовки и переподготовки авиационных специалистов различных категорий. Ключевым критерием эффективности АТ является возможность использования приобретаемых во время обучения навыков «на земле». На эффективность обучения летного персонала влияет множество факторов, среди которых особую роль выполняет степень достоверности воспроизведения в процессе тренировок всего комплекса воспринимаемых ощущений и потоков информации в сравнении с аналогичной ситуацией в полете на реальном воздушном судне. Такая достоверность достигается не только использованием блоков авионики с ЛА, но и построением правильной архитектуры взаимодействия систем тренажера и обмена информации между ними.

### Структура авиационного тренажера

Комплексный пилотажный тренажер представляет собой полноразмерную модель кабины экипажа самолета определенного типа или марки, модели и серии, включающая полный набор оборудования и компьютерных программ, необходимый для имитации функционирования самолета на земле и в полете, систему визуализации, имитирующую внешний обзор из кабины экипажа, и систему координирования движущих приводов [1] (Рисунок 1).

Структура АТ, в соответствии с нормативными документами [2,3], представлена на рисунке 2.

Уравнения движения моделируемого самолета являются основой АТ. Силы и моменты, определяющие движение самолета, решаются как набор дифференциальных уравнений для расчета движения и траектории самолета. Динамические уравнения движения центра



Рис. 1. Комплексный пилотажный тренажер

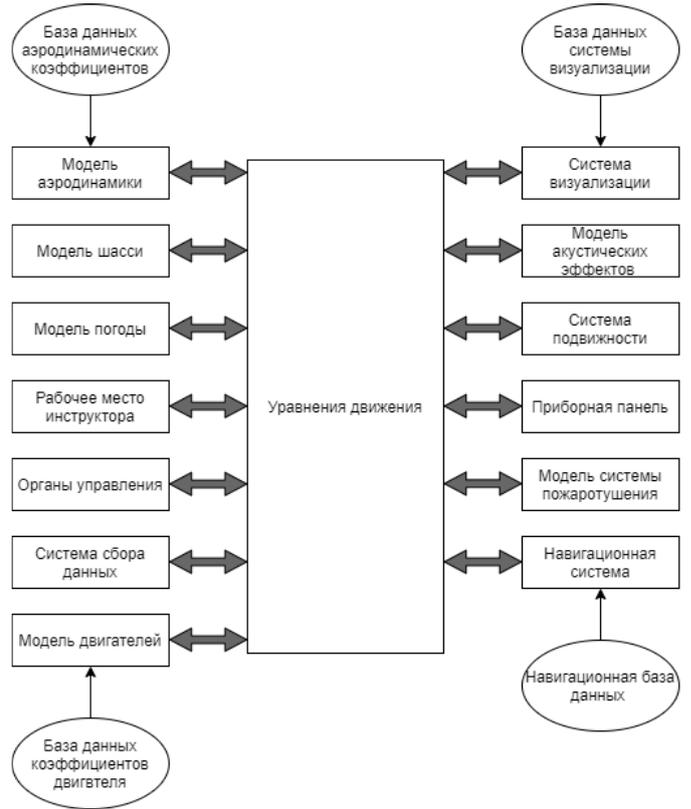


Рис. 2. Структура авиационного тренажера

$$\begin{aligned}
 m \left( \frac{dV_{kx}}{td} + \omega_y V_{kz} - \omega_z V_{ky} \right) &= F_x; \\
 m \left( \frac{dV_{ky}}{td} + \omega_z V_{kx} - \omega_x V_{kz} \right) &= F_y;
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 m \left( \frac{dV_{kz}}{td} + \omega_x V_{ky} - \omega_y V_{kx} \right) &= F_z \\
 J_x \dot{\omega}_x + (J_z - J_y) \omega_y \omega_z - J_{xy} (\dot{\omega}_y - \omega_x \omega_z) - J_{xz} (\dot{\omega}_z + \omega_x \omega_y) + J_{yz} (\omega_z^2 - \omega_y^2) &= M_x; \\
 J_y \dot{\omega}_y + (J_x - J_z) \omega_z \omega_x - J_{yz} (\dot{\omega}_z - \omega_y \omega_x) - J_{xy} (\dot{\omega}_x + \omega_x \omega_z) + J_{zx} (\omega_x^2 - \omega_z^2) &= M_y; \\
 J_z \dot{\omega}_z + (J_y - J_x) \omega_x \omega_y - J_{zx} (\dot{\omega}_x - \omega_z \omega_y) - J_{zy} (\dot{\omega}_y + \omega_z \omega_x) + J_{xy} (\omega_y^2 - \omega_x^2) &= M_z
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{\psi} &= \frac{1}{\cos \vartheta} (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma); \\
 \dot{\vartheta} &= \omega_y \sin \gamma + \omega_z \cos \gamma; \\
 \dot{\gamma} &= \omega_x - \tan \vartheta (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma)
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

масс в проекциях на оси связанной системы координат имеют вид [4]:

Здесь  $F_x, F_y, F_z$  — проекции суммарного вектора внешних сил на продольную, нормальную и поперечную оси;  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  — проекции угловой скорости;  $V_{kx}, V_{ky}, V_{kz}$  — проекции путевой скорости;  $m$  — масса самолета.

Динамические уравнения движения относительно центра масс в проекциях на оси связанной системы координат имеют вид [4]:

Здесь  $M_x, M_y, M_z$  — проекции суммарного момента внешних сил на продольную, нормальную и поперечные оси;  $J_x, J_y, J_z, J_{xy}, J_{xz}, J_{yz}$  — моменты инерции.

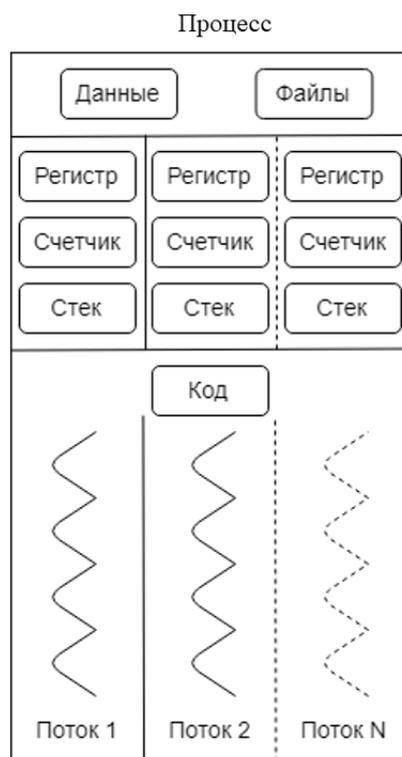


Рис. 3. Многопоточный процесс



Рис. 4. Классическая архитектура модели MPI

Для описания кинематики вращательного движения ЛА в АТ применяют кинематические уравнения Эйлера [5]:

где  $\psi$ ,  $\vartheta$ ,  $\gamma$  — углы рысканья, тангажа и крена.

Моделирование проводится с помощью соответствующего программного обеспечения на персональных компьютерах с необходимой точностью, для адекватного воспроизведения движения самолета. Кроме того, моделирование должно происходить в реальном времени. Следовательно, разработке архитектуры ПО АТ необходимо уделять особое внимание.

### Модели контроля распределения данных

#### Модель Unified Parallel C

Unified Parallel C (UPC) — это явный параллельный язык, предоставляющий возможности для непосредственной спецификации пользователем параллелизма программ и управления распределением и доступом к данным. Разработчику ПО предоставляется доступ к единому и совместно используемому глобальному адресному пространству [6]. Количество потоков (Рисунок 3) или степень параллелизма определяется во время

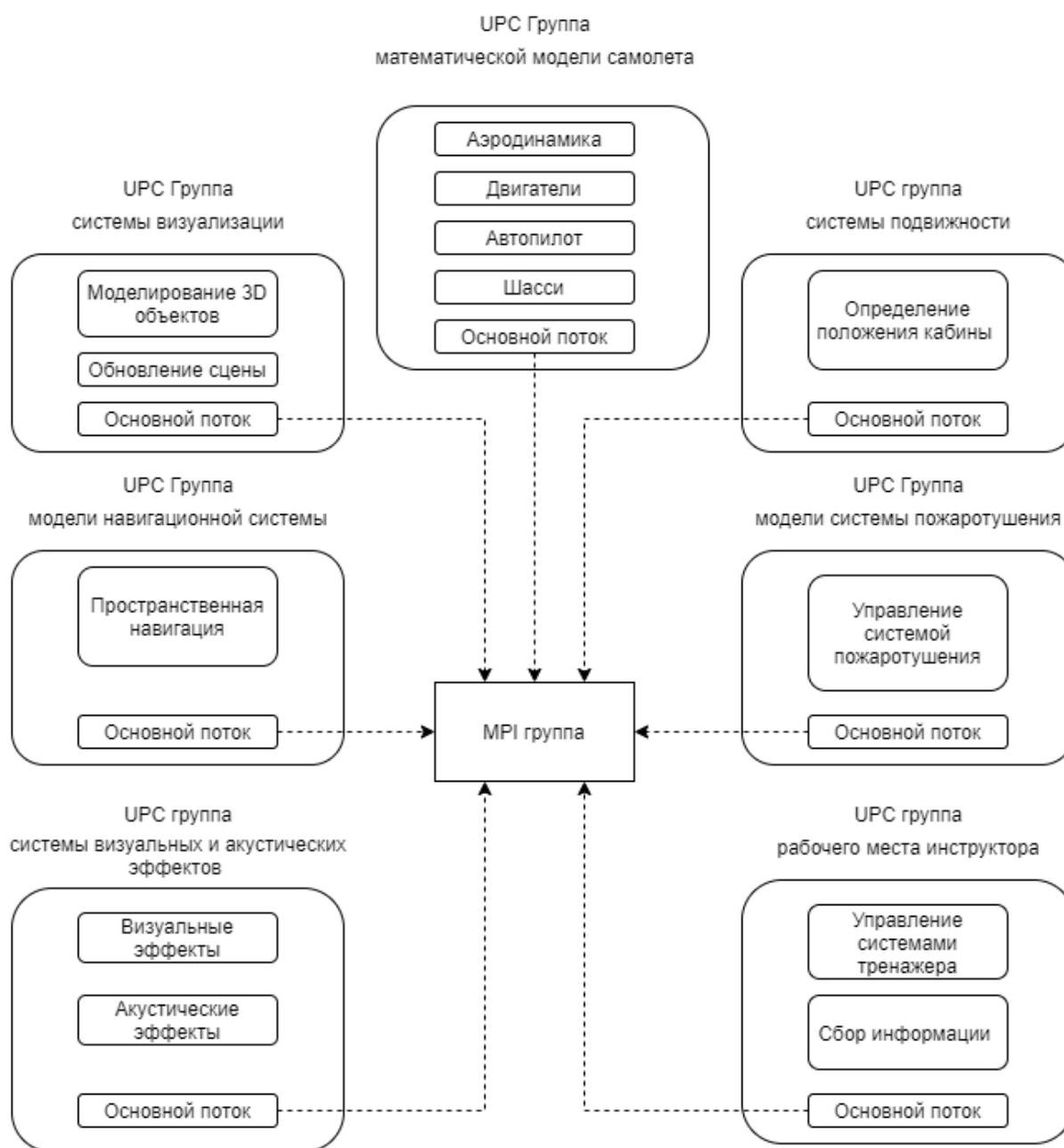


Рис. 5. Архитектура совмещенной модели UPC и MPI для АТ

запуска компилятора, либо во время запуска программы и не изменяется во время выполнения.

Каждый из запущенных потоков выполняет одну и ту же программу, однако работают они независимо и имеют личное адресное пространство. UPC позволяет оптимизировать распределение данных и координировать взаимодействие потоков таким образом, что время выполнения операций уменьшается в сравнении с последовательными вычислениями. Модель UPC позволяет частично разделять на потоки последовательные вы-

числительные процессы, что способствует увеличению общей производительности ПО.

### Модель Message Passing Interface

Message Passing Interface (MPI) — широко распространенный программный интерфейс передачи информации, позволяющий организовать обмен сообщениями между процессами, выполняющими единую задачу. Модель MPI часто используется при разработке ПО для параллельных компьютеров с распределенной памятью

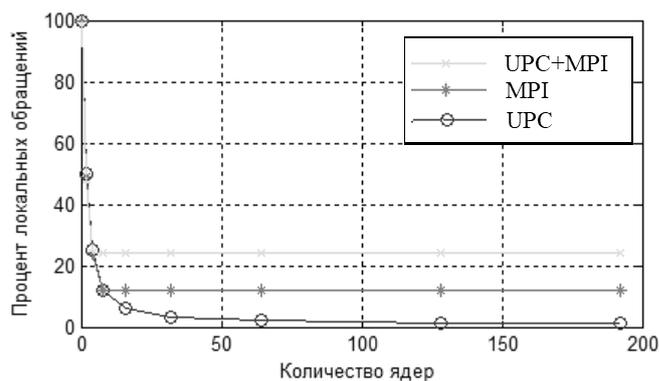
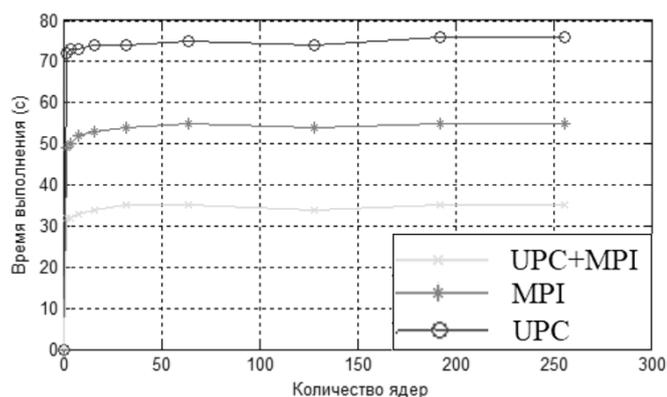


Рис. 6. Результаты анализа моделей

и объединенных высокоскоростными каналами связи (Рисунок 4). Стандарты MPI поддерживают как двусторонние операции отправки/получения сообщений во время обмена данными между парами процессов, так и одностороннюю связь.

### Концепция совмещенной модели UPC и MPI

Модели UPC и MPI по отдельности имеют свои преимущества и недостатки, замедляющие скорость обработки информации и работу ПО. Оптимальная модель MPI требует достаточной детализации сообщений для обмена данными, что является весьма энергозатратным действием даже для современных высокопроизводительных ПК. Совмещенная модель предполагает использование UPC для организации внутренних параллельных потоков, а MPI внешних.

При объединении моделей UPC и MPI предлагается определить группы UPC, связанные между собой только обменом данными с помощью MPI. Поэтому, при разработке такой системы, необходимо определить количество запускаемых групп и принять решение о разделении потоков в каждой группе. Один из потоков выбирается в качестве главного для обслуживания процессов MPI и UPC.

### Применение совмещенной модели UPC и MPI в АТ

Предлагаемая архитектура совмещенной модели UPC и MPI для использования в комплексном пилотажном тренажере изображена на рисунке 5. Такая архитектура позволит организовать взаимодействие между системами АТ. Группы UPC разделяются по основным моделям: математическая модель самолета, система подвижности, система визуализации, модель навигационной системы, рабочее место инструктора, модель системы пожаротушения, система визуальных и акустических эффектов.

Основные потоки групп объединяются в группу MPI для организации обмена сообщениями между ними.

### Анализ производительности

Анализ производительности — запуск программы тестирования для анализа производительности системы, какой-то её части или непосредственно программы. Анализ необходим и важен для понимания вычислительных ресурсов на различных платформах, так как невозможно произвести достоверную оценку исходя из данных, представленных в технических характеристиках. В данном случае, при использовании параллельных программ в тренажерном устройстве имитации полета такая информация необходима для обеспечения адекватности АТ.

На основе методов, описанных в [7], были проведены тесты для моделей UPC и MPI отдельно и для совмещенной модели UPC и MPI. Результаты представлены на рисунке 6.

В данной системе использовались шестиядерные процессоры Intel Core i5 с тактовой частотой 2.8 ГГц. У каждого процесса есть постоянный объем выполняемых операций, поэтому производительность сохраняется при увеличении количества процессоров. Исходя из представленных результатов, можно сделать вывод, что совмещенная модель UPC и MPI превосходит по производительности модель UPC примерно в 2 раза и в 1.5 раза по сравнению с моделью MPI.

### Заключение

В настоящее время авиационные тренажеры являются неотъемлемой частью программ профессиональной подготовки летных экипажей различных категорий. Для качественной подготовки авиационных специалистов тренажеры должны соответствовать

критериям эффективности обучающих средств, важным фактором которых является степень достоверности воспроизведения воспринимаемых обучающимся ощущений и потоков информации. Уравнения (1), (2), (3) — базовые уравнения математической модели самолета в АТ.

Предлагается архитектура модели параллельного программирования для организации взаимодействия основных систем тренажера. Проведенный анализ моделей UPC, MPI и совмещенной UPC+MPI показывает эффективность модели UPC+MPI в сравнении с базовыми за счет роста производительности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. David Allerton, Principles of Flight Simulation, John Wiley & Sons, Ltd, 2009
2. CS-FSTD(A) «Certification Specifications for Aeroplane Flight Simulation Training Devices».
3. Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulation Training Devices — Volume II — Aeroplanes (9625–2)
4. Динамика полета: Учебник для авиационных вузов / Мхитрян А. М., Лазнюк П. С., Максимов В. С. и др. — М.: Машиностроение, 1978. — 424с.
5. Пашковский И. М. Динамика и управляемость самолета. — М.: Машиностроение, 1987. — 429 с.
6. UPC: Distributed Shared Memory Programming (Wiley Series on Parallel and Distributed Computing Book 73) 1st Edition, Kindle Edition, 2007
7. Н. Е. Андреев, К. Е. Афанасьев, Реализация инструментального средства автоматизированного анализа производительности UPC-программ, Вычислительные методы и программирование, 2011, том 12, выпуск 2, 46–57

© Митрофанов Сергей Юрьевич (seymitrofanov@mai.ru), Рыбников Сергей Игоревич.  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Московский авиационный институт

# ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИЗНАКОВ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ПОЛА ЧЕЛОВЕКА ПО ЕГО ПОЧЕРКУ

## OPTIMIZATION OF FEATURES IN THE PROBLEM OF RECOGNIZING A PERSON'S GENDER BY HIS HANDWRITING

*R. Myasoutov*

*Summary.* In the task of recognizing the gender of a person by his handwriting the characteristics contained in any studied sample play an extremely important role. At the moment 3193 features have been collected that describe a person's handwriting. It is rather difficult to work with such a large number of features since their search and analysis takes a lot of time. The goal of this work is to optimize the number of features so as to leave the smallest number of features at which the accuracy of sex determination remains acceptable.

*Keywords:* feature optimization, dimensionality reduction, classification problem.

*Мясоутов Рамиль Хамзиевич*

*Аспирант, Волгоградский Государственный*

*Университет*

*ramilmyasoutov@yandex.ru*

*Аннотация.* В задаче распознавания пола человека по его почерку крайне важную роль играют признаки, содержащиеся в каком — либо изучаемом образце. На данный момент собрано 3193 признаков описывающих почерк человека. Работать с таким большим количеством признаков довольно сложно, так как их поиск и анализ занимает большое количество времени. Цель данной работы заключается в том, чтобы оптимизировать количество признаков так, чтобы оставить наименьшее количество признаков, при котором точность определения пола остается приемлемой.

*Ключевые слова:* оптимизация признаков, уменьшение размерности, задача классификации.

**Д**анная задача[1] сводится к задаче уменьшения размерности[2], которая подразумевает уменьшение количества признаков набора данных. Уменьшение набора признаков может быть осуществлено с помощью методов выбора признаков или выделения признаков. Методы выделения признаков работают так, что они из уже существующего набора признаков создают свой набор признаков. Такой формат противоречит цели данной работы, поэтому они не использовались при решении данной задачи. Методы выбора признаков можно разбить на несколько разных типов. В данной работе были рассмотрены фильтры, оберточные методы и встроенные методы.

### Фильтры

Фильтры измеряют релевантность признаков на основе некой функции  $f$ , а затем по правилу  $K$  выбираются признаки, которые необходимо оставить в результирующем подмножестве. Для функции  $f$  были выбраны методы:

Хи-квадрат[3] — 
$$X^2 = \sum \frac{(\text{observed} - \text{expected})^2}{\text{expected}}$$

F-критерий[4] — 
$$F = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \sim F(m - 1, n - 1)$$

Для правил выбора  $K$  были использованы методы:

1. KBest[5] —  $K$  лучших значений

2. VarianceThreshold[6] — метод оценки дисперсии признака. Общий принцип звучит так, что признаки с почти нулевой дисперсией не являются значимыми, поэтому их можно удалить

### Оберточные методы

Методы из данной категории работают на основе следующего принципа. Классификатор запускается на разном подмножестве признаков исходного тренировочного набора данных, после выбирается подмножество признаков с наилучшими параметрами на обучающей выборке, а затем выполняются проверки на тестовом наборе данных. Одним из преимуществ оберточных методов перед фильтрами является учет зависимости между признаками. Одним из примеров таких методов является recursive feature elimination (RFE) [7]. В данной работе RFE был использован в паре с классификатором дерево решений (DecisionTreeClassifier)[8].

### Встроенные методы

В данном подходе для начального множества признаков создается несколько подмножеств признаков, а затем эти группы пересекают так, чтобы получить набор самых релевантных признаков. В данной работе был использован случайный лес (RandomForestClassifier)[9]

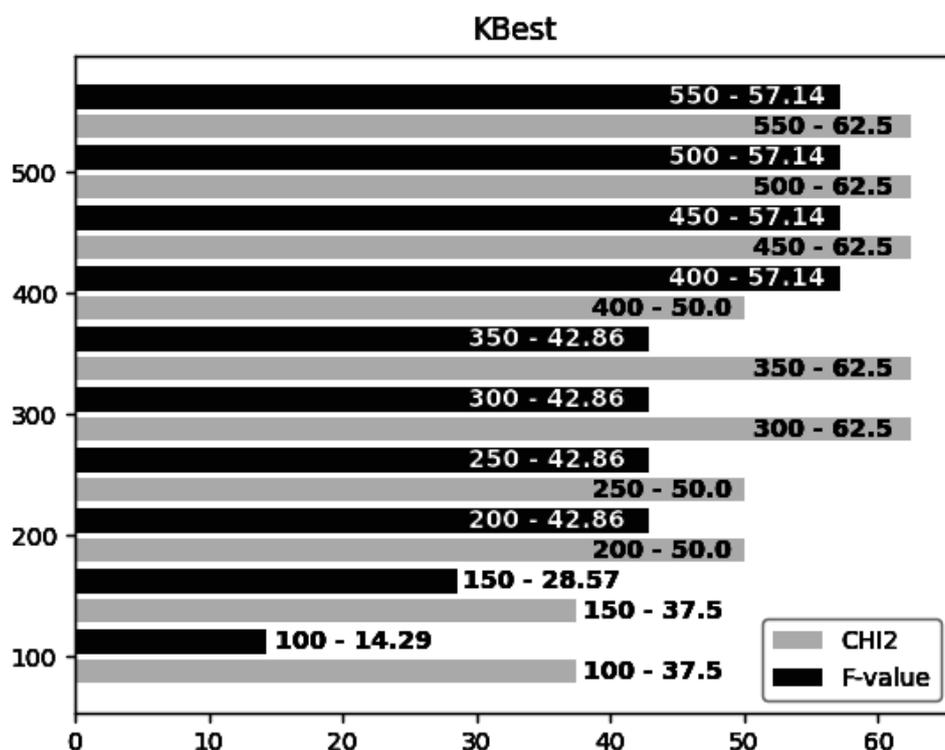


Рис. 1

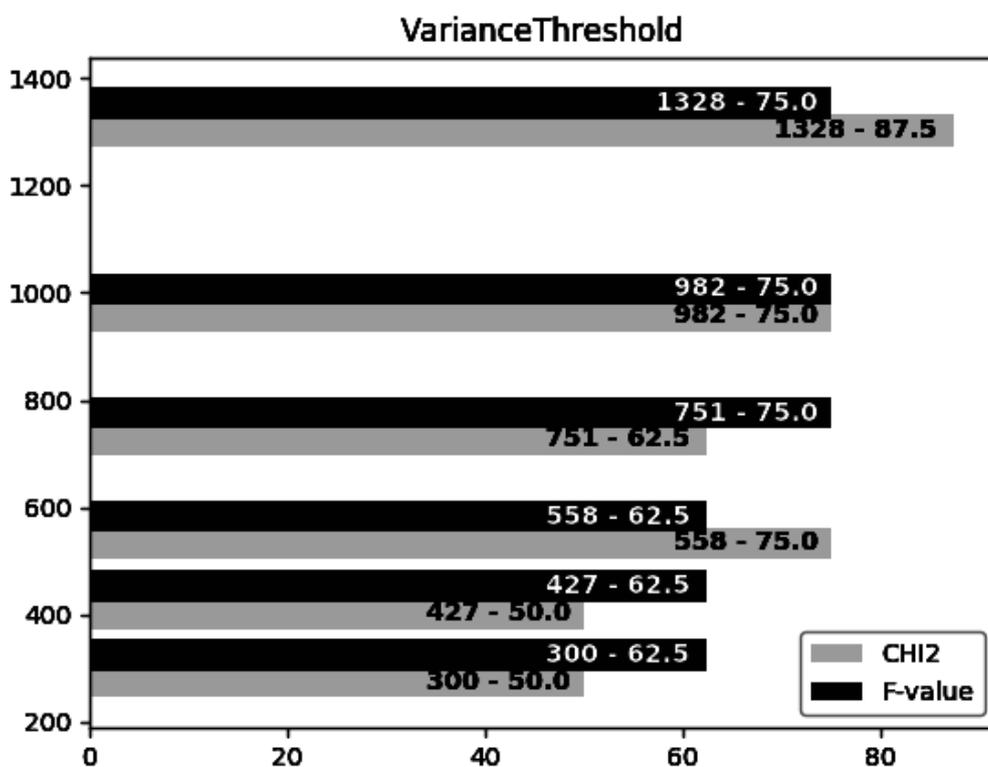


Рис. 2

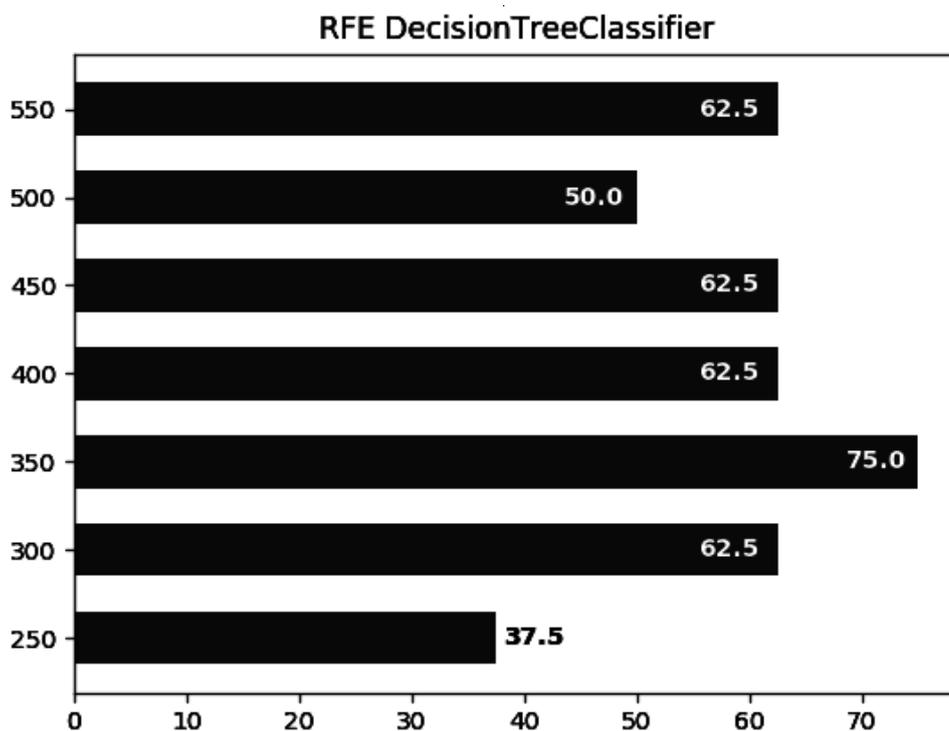


Рис. 3

### Критерий выбора

Для сбора статистических данных для всех перечисленных методов использовался следующий подход:

- ◆ для всех признаков от 3193 до 0 с шагом 50 делать:
- ◆ инициализировать метод оптимизации с указанным количеством признаков
- ◆ выполнить оптимизацию признаков
- ◆ проверить работу классификатора для указанного набора признаков
- ◆ сохранить точность и признаки
- ◆ На текущий момент для определения пола используется следующая последовательность действий:
- ◆ представить изучаемый образец в виде вектора признаков  $p = (0, 1, 0, 1, \dots)$ , где позиция 0 или 1 — наличие  $i$ -го признака,
- ◆ вычислить косинусное расстояние[10] между изучаемым образцом и векторами всех эталонных (обучающих) образцов,
- ◆ выбрать наиболее ближайший эталонный вектор,
- ◆ присвоить пол ближайшего эталонного образца изучаемому образцу.

Поэтому при решении поставленной задачи выбор признаков осуществлялся на базе обучающих образцов, а при проверке во всех векторах тестовых и обучающих образцах выбирались только те признаки, которые были получены на этапе оптимизации признаков. Сравнение

производилось на базе уменьшенного вектора признаков. Так как основная цель работы заключается в подборе наименьшего количества признаков, при котором точность определения остается приемлемой. Тогда критерием выбора будет: минимальное количество признаков с максимальной точностью определения.

### Рассмотрим результаты работы методов фильтрации признаков.

На рис. 1 отображено сравнение точности определения пола с количеством выбранных признаков функциями хи-квадрат ( $\chi^2$ ) и F-критерий (F-value), на оси абсцисс лежит точность распознавания, а на оси ординат — количество признаков. На рис. 1 представлено сравнение для метода выбора KBest, а на рис. 2 — для метода VarianceThreshold.

Судя по графикам, можно сделать вывод, что ограничение фильтрами не дает особо большую точность распознавания пола, так как с увеличением количества признаков повышается и точность, за счет покрытия большего множества признаков.

Рассмотрим работу оберточного метода RFE на базе DecisionTreeClassifier

На рис. 3 отображено сравнение точности определения пола с количеством выбранных признаков, на оси

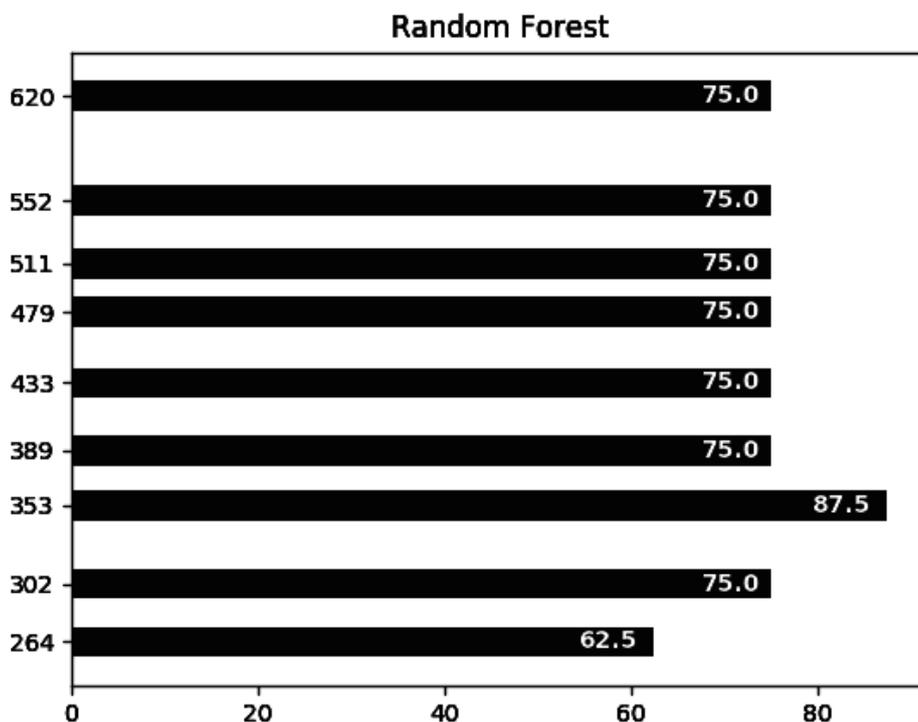


Рис. 4



Рис. 5.

абсцисс лежит точность распознавания, а на оси ординат — количество признаков. На данном графике видно, что при увеличении количества признаков не всегда увеличивается точность распознавания, а при выборе 350 определенных признаков точность равна 75%, а это говорит о том, что при определенной группе наиболее важных признаков, можно добиться большей точности.

#### Рассмотрим работу встроенного метода случайный лес

На рис. 4 отображено сравнение точности определения пола с количеством выбранных признаков, на оси абсцисс лежит точность распознавания, а на оси ординат — количество признаков. Так же как и в случае оберточного метода, видно, что случайный лес позволил най-

ти более удачные группы признаков, которые не теряют точности с увеличением количества признаков. При 353 признаках точность возросла до 87.5%.

#### Сравнение результатов

Сравним все лучшие варианты оптимизации признаков с учетом описанного выше критерия.

На рис. 5 отображено сравнение лучших методов определения пола, на оси абсцисс лежит количество признаков, а на оси ординат — методы выбора признаков, на каждой из шкал указана точность определения с указанным количеством признаков. Судя по графику видно, что со всеми текущими признаками точность определения составляет 87.5%. Если

сократить количество признаков до 1328 с помощью фильтра `VarianceThreshold` с функцией хи-квадрат, то точность также останется на уровне 87.5%. В то же время можно пойти дальше и сократить количество признаков до 353 с помощью случайного леса, не потеряв точность определения. Исходя из всего вышесказанного видно, что для задачи определения стоит рассматривать методы оптимизации, которые учитывают связи между признаками. Следовательно, фильтры не подходят для решения текущей задачи, поэтому необходимо рассматривать встроенные и оберточные методы. У оберточных методов высок риск переобучения, а встроенные методы уменьшают

данный риск, но так как полученный набор признаков отбирается на основе знаний о классификаторе, то при смене классификатора выбранное множество признаков может не быть релевантным. На текущий момент было принято решение остановиться на множестве признаков, которое было выбрано с помощью случайного леса, так как с учетом определения пола на основе косинусного расстояния между векторами признаков точность на данном множестве признаков остается высокой. В дальнейшем, при увеличении обучающей выборки с полным множеством признаков, можно повторить выбор признаков, чтобы подобрать более удачное множество признаков.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мясоутов Р.Х. Создание системы распознавания пола человека по его почерку. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки» -№ 07, —2020, с. 86–90
2. Уменьшение размерности. URL // Университет ИТМО. Конспекты: [https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Уменьшение\\_размерности](https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Уменьшение_размерности) (дата обращения — 10.01.2021)
3. Хи-квадрат // Sklearn. URL: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.feature\\_selection.chi2.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.feature_selection.chi2.html) (дата обращения — 10.01.2021)
4. F-критерий // Sklearn. URL: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.feature\\_selection.f\\_classif.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.feature_selection.f_classif.html) (дата обращения — 10.01.2021)
5. KBest // Sklearn. URL: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.feature\\_selection.SelectKBest.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.feature_selection.SelectKBest.html) (дата обращения — 10.01.2021)
6. `VarianceThreshold` // Sklearn. URL: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.feature\\_selection.VarianceThreshold.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.feature_selection.VarianceThreshold.html) (дата обращения — 10.01.2021)
7. Jason Brownlee. Recursive Feature Elimination (RFE) for Feature Selection in Python // Machine Learning Mastery. 2020. URL: <https://machinelearningmastery.com/rfe-feature-selection-in-python/> (дата обращения — 10.01.2021)
8. `DecisionTreeClassifier` // Sklearn. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.tree.DecisionTreeClassifier.html> (дата обращения — 10.01.2021)
9. `RandomForestClassifier` // Sklearn. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestClassifier.html> (дата обращения — 10.01.2021)
10. Косинусное сходство // Wikipedia. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Векторная\\_модель#Косинусное\\_сходство](https://ru.wikipedia.org/wiki/Векторная_модель#Косинусное_сходство) (дата обращения — 10.01.2021)

---

© Мясоутов Рамиль Хамзиевич ( [ramilmyasoutov@yandex.ru](mailto:ramilmyasoutov@yandex.ru) ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

## IMPROVING THE METHODOLOGY QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THREATS TO INFORMATION SECURITY OF TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS AND NETWORKS

**O. Nazarova  
A. Sagdeev  
I. Stakheev  
O. Titova  
A. Shilina**

*Summary.* In order to improve the effectiveness of security systems for telecommunications systems and networks, the paper considers the issue of assessing threats to their information security. The technique of definition of quantity of threats taking into account the probabilistic nature of the process of realization of negative impacts on the objects of telecommunications, the factors that promote and (or) their initiator obtained according to formal definitions of the quantitative indicators of threats. Methods of quantitative threat assessment in order to justify and describe the method for determining the threat to telecommunications networks and systems and quantifying the degree of this threat are considered by example. Recommendations are formulated for obtaining expert assessments of negative impacts on the object of Informatization and countering them with information security systems, as well as qualitative classification of threat categories for making decisions on the protection of telecommunications facilities.

*Keywords:* telecommunication systems and networks, information security, information security threats, security systems, methods for assessing information security threats.

**Назарова Ольга Юрьевна**

*К.т.н., доцент, Донской государственный  
технический университет, Ростов-на-Дону  
olga2018rostov@yandex.ru*

**Сагдеев Александр Константинович**

*К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский  
государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
brother-aks@yandex.ru*

**Стахеев Иван Геннадиевич**

*К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский  
государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича*

**Титова Ольга Викторовна**

*К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский  
государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича*

**Шилина Анна Николаевна**

*К.т.н., доцент, Южно-Российский государственный  
политехнический университет (НПИ) имени  
М. И. Платова, Новочеркасск*

*Аннотация.* С целью повышения эффективности систем обеспечения безопасности телекоммуникационных систем и сетей, в работе рассматривается вопрос оценки угроз их информационной безопасности. Предложена методика определения количественного показателя угроз с учетом вероятностного характера процесса реализации негативных воздействий на объекты телекоммуникаций, определены факторы, способствующие и (или) их инициирующие, получены зависимости формального определения количественного показателя угроз. Методики количественной оценки угрозы с целью обоснования и описания способа определения угрозы на телекоммуникационные сети и системы и количественной оценки степени этой угрозы рассмотрены на примере. Сформулированы рекомендации по получению экспертных оценок негативных воздействий на объект информатизации и противодействия им систем обеспечения информации, а так же качественной классификации категорий угроз для принятия решений по защите объектов телекоммуникаций.

*Ключевые слова:* телекоммуникационные системы и сети, безопасность информации, угрозы информационной безопасности, системы обеспечения безопасности, методика оценки угроз информационной безопасности.

**В** современных условиях значение телекоммуникационных систем и сетей (ТКСС), их составляющая в жизни общества, а вместе с тем важность и сложность задачи обеспечения их информационной безопасности неизмеримо возросли. Безусловно, что согласно закрепленного Федеральным законом [1] интегрального понятия защищаемого объекта, телекоммуникации становятся важной составляющей, объектом безопасности в информационной сфере.

Значимость обеспечения защиты ТКСС определяется уязвимостью, некоторым свойством информационной сферы, которое делает возможным возникновение и реализацию угрозы, негативного воздействия вследствие множества факторов, основными среди которых являются:

- ♦ огромные масштабы информационной инфраструктуры страны,
- ♦ взаимодействие объектов информатизации с международными сетями передачи и хранения информации,
- ♦ возросшим числом компьютерных атак на критически важные объекты инфраструктуры,
- ♦ эксплуатация средств вычислительной техники и связи иностранного производства.

Основными объектами угрозы информационной безопасности являются объекты информатизации, информационные системы, ресурсы информационной системы, информационные технологии, программные средства и сети связи. Быстро развивающиеся технологии передачи данных требуют постоянного совершенствования методов обеспечения БИ, а значит анализа «аспектов, связанных с определением, достижением и поддержанием конфиденциальности, целостности, доступности, неотказуемости, подотчетности, аутентичности и достоверности информации или средств ее обработки» [2].

Информационной безопасностью (ИБ) ТКСС является ее способность противостоять множеству угроз, основными видами которых можно считать информационные нарушения сбора и обработки информации, аппаратно-программные угрозы и радиоэлектронные помехи, перехват информации, нормативно-правовые коллизии, а так же физические поломки, хищение и аварии в технических системах коммуникации. Применительно к основным свойствам информации возможны угрозы связанные с разглашением информации, с несанкционированным доступом, искажением (модификацией) информации, блокированием доступа к защищаемой информации, уничтожением носителей информации, непреднамеренным воздействием или сбоем оборудования и др. Виды угроз однозначно определяются видами НВ на ТКСС.

Появление одного или нескольких нежелательных или неожиданных событий ИБ, имеющих значительную вероятность компрометации и указывающих на свершившуюся, преднамеренную или вероятную реализацию угрозы ИБ, является инцидентом (И) безопасности [3].

Противодействие угрозам — цель защиты систем обеспечения БИ, эффективность которых адекватно зависит от применения современных методик определения показателей угроз.

В качестве вида количественного показателя угрозы безопасности выберем *степень угрозы И* на объекте безопасности на некотором временном интервале  $\Delta T = [t_1, t_2]$ .

Учитывая вероятный характер процесса реализации И на ТКСС, степень угрозы  $v_j I$  ( $j = 1, 2, \dots, J$ ) на  $i$ -й объект ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) количественно может характеризоваться вероятностью  $W_{i(v_j)T^{угр}}$  начала исполнения этой угрозы (начала реализации И) на временном интервале  $\Delta T$ .

Здесь и в дальнейшем под *вероятностью* некоторого события, которая согласно положению теории вероятностей является неслучайной величиной, будем понимать полученную тем или иным способом ее *оценку*, которая представляет собой случайное число и характеризует вероятность с некоторой точностью в зависимости от способа ее определения [4, 5, 6].

Величина  $W_{i(v_j)T^{угр}}$  определяется наличием на интервале  $\Delta T$  ряда факторов угрозы  $f_{ij\phi} \in F_{ij}$ ,  $\phi = 1, 2, \dots, \Phi_{ij}$ , способствующих и/или инициирующих  $v_j$  И на  $i$ -й объект ТКСС (1).

При этом в зависимости от своего физического содержания указанные факторы могут вызывать И как самостоятельно, так и в определенных сочетаниях.

Факторы способствующие И (и/или их инициирующие) применительно к информационной сфере:

- ♦ наличие связей объектов ТКСС с сетью Интернет;
- ♦ наличие заинтересованности определенных лиц и организаций в получении конфиденциальной информации, циркулирующей в конкретной информационной системе;
- ♦ социальная значимость ТКСС;
- ♦ уязвимостью объектов информатизации и реализуемых ими технологических процессов;
- ♦ уязвимостью систем обеспечения БИ;
- ♦ надлежащее выполнение собственниками объектов информатизации эксплуатационных требований (режим эксплуатации, техническое обслуживание, регламентные работы, ремонт и т.п.);

$$W_{i(\phi_j)T}^{y_{гр}} = W_{T}^{y_{гр}} f_{ij\phi} \in F_{ij}. \quad (1)$$

$$W(f_{ij\phi})^{y_{гр}}_{\phi} = W(f_{ij\phi})^{нал}_{\phi} W(f_{ij\phi})^{вл}_{\phi}. \quad (2)$$

$$W_{i(\phi_j)\phi}^{y_{гр}} = \sum_{\Pi=1}^{\Phi_{ij}} W(f_{ij\phi})_{T}^{y_{гр}} - \sum_{\phi, \beta} W(f_{ij\phi} \cap f_{ij\beta})_{\phi}^{y_{гр}} + \sum_{\phi, \beta, \gamma} W(f_{ij\phi} \cap f_{ij\beta} \cap f_{ij\gamma})_{\phi}^{y_{гр}} - \dots + (-1)^{\Phi_{ij}-1} W(f_{ij1} \cap f_{ij2} \cap \dots \cap f_{ij\phi_{ij}})_{\phi}^{y_{гр}}. \quad (3)$$

$$W_i(B_j)_{\phi}^{y_{гр}} = \sum_{\Pi=1}^{\Phi_{ij}} W(f_{ij\phi})_{\phi}^{y_{гр}} - \sum_{\phi, \beta} W(f_{ij\phi})_{\phi}^{y_{гр}} W(f_{ij\beta})_{\beta}^{y_{гр}} + \sum_{\phi, \beta, \gamma} W(f_{ij\phi})_{\phi}^{y_{гр}} W(f_{ij\beta})_{\beta}^{y_{гр}} W(f_{ij\gamma})_{\gamma}^{y_{гр}} - \dots + (-1)^{\Phi_{ij}-1} W(f_{ij1})_{\phi}^{y_{гр}} W(f_{ij2})_{\beta}^{y_{гр}} \dots W(f_{ij\phi_{ij}})_{\phi}^{y_{гр}}. \quad (4)$$

$$W(f_{ij\phi})_{\phi}^{y_{гр}} W(f_{ij\beta})_{\beta}^{y_{гр}} \dots W(f_{ij\gamma})_{\gamma}^{y_{гр}} W(f_{ij\delta})_{\delta}^{y_{гр}} W(f_{ij\epsilon})_{\epsilon}^{y_{гр}} T, \dots \quad (5)$$

$$W_{i(\phi_j)\phi}^{y_{гр}} = \prod_{\phi=1}^{\Phi_{ij}} (1 - W(f_{ij\phi})_{\phi}^{y_{гр}}). \quad (6)$$

- ♦ возможность физического НД к технике и операционным системам;
- ♦ низкий уровень квалификации, состояния производственной дисциплины, морального и психологического состояния персонала объектов информатизации.

Определение перечня факторов угрозы  $F_{ij}$ , их наличия на интервале  $\Delta T$  и влияния на начало И на этом интервале является не формализуемой задачей и может осуществляться исключительно экспертными методами с участием специалистов.

В интересах формального определения степени угрозы введем в рассмотрение величину  $W(f_{ij\phi})_{T}^{нал}$ , характеризующую наличие на интервале  $\Delta T$  фактора угрозы  $f_{ij\phi}$ , способствующего реализации  $j$ -го И на  $i$ -й объект безопасности, и величину  $W(f_{ij\phi})_{\phi}^{вл}$ , характеризующую влияние этого фактора (при его наличии) на начало указанного воздействия. При введении шкалы  $[0,1]$  в качестве области значений величин они могут быть интерпретированы как соответствующие вероятности.

Степень угрозы  $W(f_{ij\phi})_{\phi}^{y_{гр}}$  (со стороны фактора  $f_{ij\phi}$ ) начала реализации  $j$ -го И на ТКСС на интервале  $\Delta T$  определяется совпадением двух событий: наличием фактора  $f_{ij\phi}$  на этом интервале и его влиянием на начало воздействия (2).

Второй сомножитель  $W(f_{ij\phi})_{\phi}^{вл}$  при этом имеет смысл условной вероятности (при условии наличия фактора  $f_{ij\phi}$  на интервале  $\Delta T$ ).

В случае совместного присутствия на интервале  $\Delta T$  всей (в общем случае взаимосвязанной) совокупности факторов  $f_{ij\phi} \in F_{ij}$  ( $\phi = 1, 2, \dots, \Phi_{ij}$ ) степень угрозы начала реализации  $v_j$  И на  $i$ -й объект ТКСС определяется следующим образом (3), где  $W(f_{ij\phi} \cap f_{ij\beta})_{\phi}^{y_{гр}}$  — степень угрозы, обусловленная совместным влиянием на начало  $v_j$  ИВ взаимосвязанных факторов  $f_{ij\alpha} \in F_{ij}$ ; суммы распространяются на различные значения индексов  $\phi$ :  $\alpha, \beta; \alpha, \beta, \gamma$  и т.д.

Если события, характеризующие присутствие на интервале  $\Delta T$  факторов  $f_{ij\phi}$  и их влияние на начало  $v_j$  И, являются независимыми, выражение (3) преобразуется в вид (4).

В случае, когда факторы  $f_{ij\phi}$  не являются независимыми, ряд соответствующих сомножителей в слагаемых зависимости (4), представляющих собой произведение вероятностей (5), будут иметь смысл условных вероятностей [7].

При использовании понятия противоположного события [8]  $(1 - W(f_{ij\phi})_{T}^{y_{гр}})$  зависимость (4) представляется в более компактной форме (6).

Таблица 1

Фактор $f_{ij\phi}$	Инцидент на $j=1,2,\dots,J$					
	1		j		J	
	Наличие	Влияние	Наличие	Влияние	Наличие	Влияние
1	$W_k(f_{i11})_{\phi}^{\text{НАЛ}}$	$W_k(f_{i11})_{\phi}^{\text{ВЛ}}$	$W_k(f_{ij1})_{\phi}^{\text{НАЛ}}$	$W_k(f_{ij1})_{\phi}^{\text{ВЛ}}$	$W_k(f_{iJ1})_{\phi}^{\text{НАЛ}}$	$W_k(f_{iJ1})_{\phi}^{\text{ВЛ}}$
$\phi$	$W_k(f_{i1\phi})_{\phi}^{\text{НАЛ}}$	$W_k(f_{i1\phi})_{\phi}^{\text{ВЛ}}$	$W_k(f_{ij\phi})_{\phi}^{\text{НАЛ}}$	$W_k(f_{ij\phi})_{\phi}^{\text{ВЛ}}$	$W_k(f_{iJ\phi})_{\phi}^{\text{НАЛ}}$	$W_k(f_{iJ\phi})_{\phi}^{\text{ВЛ}}$
$\Phi_{ij}$	$W_k(f_{i1\phi})_{\phi}^{\text{НАЛ}}$	$W_k(f_{i1\phi})_{\phi}^{\text{ВЛ}}$	$W_k(f_{ij\phi})_{\phi}^{\text{НАЛ}}$	$W_k(f_{ij\phi})_{\phi}^{\text{ВЛ}}$	$W_k(f_{iJ\phi})_{\phi}^{\text{НАЛ}}$	$W_k(f_{iJ\phi})_{\phi}^{\text{ВЛ}}$

Таблица 2

Фактор $f_{ij\phi}$	Инцидент на $j=1,2,\dots,J$		
	1	j	J
	1	$W_k(f_{i11})_{\phi\text{УТР}}$	$W_k(f_{ij1})_{\phi\text{УТР}}$
$\phi$	$W_k(f_{i1\phi})_{\phi\text{УТР}}$	$W_k(f_{ij\phi})_{\phi\text{УТР}}$	$W_k(f_{iJ\phi})_{\phi\text{УТР}}$
$\Phi_{ij}$	$W_k(f_{i1\phi})_{\phi\text{УТР}}$	$W_k(f_{ij\phi})_{\phi\text{УТР}}$	$W_k(f_{iJ\phi})_{\phi\text{УТР}}$

Таблица 3

Эксперт, $k = 1,2,\dots,k$	инцидент на $j=1,2,\dots,J$		
	1	j	J
	1	$W_{i(61)\phi}^{\text{УТР}}_1$	$W_{i(6j)\phi}^{\text{УТР}}_1$
k	$W_{i(61)\phi}^{\text{УТР}}_k$	$W_{i(6j)\phi}^{\text{УТР}}_k$	$W_{i(6J)\phi}^{\text{УТР}}_k$
K	$W_{i(61)\phi}^{\text{УТР}}_K$	$W_{i(6j)\phi}^{\text{УТР}}_K$	$W_{i(6J)\phi}^{\text{УТР}}_K$

Рассмотрение методики количественной оценки угрозы с целью обоснования и описания способа определения угрозы на ТКСС и количественной оценки степени этой угрозы рассмотрим при следующих исходных данных:

- ♦ временной интервал, на котором оцениваются угрозы реализации негативных воздействий на ТКСС.
- ♦ перечень и содержание характерных для этого объекта И.
- ♦ перечень и содержание факторов угрозы, которые могут способствовать началу И на ТКСС.

Для конкретных ТКСС содержание исходных данных уточняются специалистами по обеспечению безопасности на основании:

- ♦ анализа специфических особенностей этого объекта, характерных для него И, а также факторов, способствующих их реализации;
- ♦ накопление опыта борьбы с И;
- ♦ имеющейся статистики по происшествиям безопасности применительно к данному объекту и подобным ему объектам безопасности;
- ♦ прогнозирования возможных изменений И (например, совершенствование нарушителями способов осуществления актов незаконного вмешательства в работу ТКСС) и факторов, способствующих их реализации.

Ввиду невозможности формализации получения исходных данных количественная оценка угрозы безопасности осуществляется экспертным методом. Выбранной

группе в составе  $K$  экспертов представляется перечень характерных для данной ТКСС И (которые представляют интерес с точки зрения обеспечения безопасности), предлагается определить перечень факторов угрозы воздействия на временном интервале  $\Delta T$  и ответить на следующие вопросы:

1. Какие факторы, по вашему мнению, на временном интервале  $\Delta T$  могут способствовать угрозе реализации представленных И на данную ТКСС?
2. Какова, по вашему мнению, степень влияния (по шкале [0, 1]) наличия на интервале  $\Delta T$  выбранных вами факторов?
3. Какова, по вашему мнению, степень влияния (по шкале [0, 1]) каждого из выбранных вами факторов на начало представленных И?

Ответы каждого эксперта фиксируются в форме табл. 1.

По результатам экспертного опроса величины  $W_k(\theta_j)$  фиксируются с использованием зависимости (2) и представляются в форме табл. 2.

В соответствии с данными табл. 2 с использованием зависимостей (5) или (4) проводятся количественные оценки степени угрозы  $Wi(\theta_j)Tuzpk$  начала реализации инцидента на  $i$ -й ОБ (по мнению каждого из участвовавших в опросе экспертов). Результаты этих оценок оформляются в виде табл. 3.

Экспертному методу оценки характеристик СОБ защищаемых объектов принадлежит важная роль в процессе этой оценки вследствие большой сложности структур «ОБ — СОБ», широкого участия в них человека и невозможности исчерпывающего формального описания процессов негативных воздействий на ОБ и противодействия им СОБ.

Экспертный метод, базирующийся на *эвристической* деятельности человека, является исторически наиболее известным. Эвристическая деятельность представляет собой познавательный процесс, направленный на изучение качественных и количественных сторон исследуемого процесса или явления, протекающий в голове человека с использованием сформированных в мозгу образов этого процесса или явления [9]. Причем зачастую человек не в состоянии четко сформулировать, каким образом он сделал ту или иную оценку.

Совершенно очевидно, что не всякий человек, ежедневно пользующийся своими эвристическими оценками в повседневной жизни, несмотря на прирожденные способности и даже талант, способен количественно оценить характеристики сложных процессов (явлений), когда требуется большой объем знаний в специальных

областях и соответствующий опыт работы. Опыт формируется в процессе оценки результатов схожих процессов (явлений), наблюдения за их протеканием, сравнения результатов собственных оценок с практическими результатами и корректировки, исходя из этого, «собственной методики» оценки.

Экспертный метод не потерял своего значения в тех случаях, когда бывает сложно, а иногда на данном уровне знаний просто невозможно построить математическую модель исследуемого процесса, провести оценки формальными методами с требуемой точностью. Между тем человек в подобных ситуациях решает задачи оценки зачастую достаточно успешно и в условиях неполной информации. Здесь проявляется подмеченная Н. Винером замечательная способность человеческого мозга «оперировать с нечетко очерченными понятиями» [10].

В связи с этим, т.к. в основе экспертных оценок, как отмечалось выше, лежит познавательный процесс, протекающий в мозгу человека, они подвержены целому ряду объективных и субъективных факторов, определяемых характером, особенностями мышления и чертами конкретного человека.

Факторами, без которых получение точных оценок просто невозможно, являются уже упомянутые профессиональные знания, опыт, а также интуиция, способность к выделению главного, умение вовремя признать свою ошибку.

К факторам, которые могут отрицательно сказаться на качестве оценки, относятся [10]: профессиональная ограниченность, психологическая инерция, консерватизм мышления, трудность восприятия отрицательных выводов, склонность к преувеличению плохого, боязнь ответственности.

Влияние на результаты экспертных оценок факторов, обусловленных субъективизмом конкретного человека, может быть умышленно при проведении опроса группы экспертов при правильно организованной процедуре самого опроса и обработке полученных результатов, например, с использованием уже упомянутого метода ДЕЛЬФИ [11].

Метод ДЕЛЬФИ представляет собой многоэтапный экспертный метод, предусматривающий первоначальное изолированное вынесение экспертами своих суждений и дальнейшую многократную их корректировку на базе ознакомления каждого эксперта с суждениями других экспертов до тех пор, пока величина разброса оценок не будет находиться в рамках заранее устанавливаемого желаемого интервала варьирования оценок.

Таблица 4

Вид инцидента	Степень угрозы начала инцидента на интервале $\Delta T$
$\theta_1$	$\overline{W}_i(\theta_1)_{\Phi}^{y_{гр}}$
$\theta_j$	$\overline{W}_i(\theta_j)_{\Phi}^{y_{гр}}$
$\theta_J$	$\overline{W}_i(\theta_J)_{\Phi}^{y_{гр}}$

$$\tilde{y} = \sum_{k=1}^K y_k / K \tag{7}$$

$$e = \frac{\left\{ \frac{\sum_{k=1}^K (y_k - \tilde{y})^2}{K-1} \right\}^{\frac{1}{2}}}{\tilde{y}} \tag{8}$$

$$\overline{W}_i(\theta_i)_{\Phi}^{y_{гр}} = \sum_{k=1}^K W_{i(\theta_j)_{\Phi}}^{y_{гр}} - K. \tag{10}$$

$$\varepsilon = \left\{ \frac{\sum_{k=1}^K (W_{i(\theta_j)_{\Phi}}^{y_{гр}} - \overline{W}_i(\theta_i)_{\Phi}^{y_{гр}})^2}{(K-1)} \right\}^{\frac{1}{2}} / \overline{W}_i(\theta_i)_{\Phi}^{y_{гр}} \tag{11}$$

В результате экспертного опроса относительно величины некоторой характеристики СОБ защищаемого объекта обобщенное мнение группы из  $K$  экспертов представляется в виде:

- ◆ среднего значения величины  $y$  (7)
- ◆ коэффициента вариации мнений группы экспертов (8)

Результаты опроса подвергаются анализу, целью которого является оценка с помощью коэффициента вариации  $\varepsilon$  согласованности мнений экспертов. Если коэффициент вариации не превосходит некоторого заранее оговоренного допустимого значения  $\varepsilon^{don}, \varepsilon \leq \varepsilon^{don}$ , (9) окончательные результаты принимаются соответствующими оценке (7).

Значение коэффициента  $\varepsilon^{don}$  с учетом случайного характера величины  $y$  и возможных ошибок экспертов выбирается в виде некоторого диапазона (для практических задач, например, диапазон 0,15—0,20).

В случае невыполнения условия (9) проводится обсуждение мнений экспертов, находятся причины разброса экспертных оценок и проводится повторный опрос экспертов. Данная процедура проводится до тех пор, пока не будет выполнено условие (9).

С использованием данных табл. 3, находится обобщенное мнение группы экспертов (7) в виде среднего значения степени угрозы начала реализации на интервале  $\Delta T$  каждого  $j$ -го инцидента на  $i$ -й ОБ (10) и оценивается согласованность мнений группы экспертов (8) по величине коэффициента вариации (11).

В случае наличия согласованного (9) мнения группы экспертов результаты количественной оценки степени угрозы начала реализации на интервале  $\Delta T$  инцидента оформляются в виде таблицы 4.

Введение количественного показателя степени угрозы И на ОБ позволяет количественно описать содержа-

Таблица 5

Инцидент, $\theta_j$ ( $j=1,2,\dots,j$ )	Категория угроз $i$ -му ОБ		
	I категория угроз	II категория угроз	III категория угроз
1	$0 < W_{i(\theta_1)\Phi}^{угр} \leq A_{i1}$	$A_{i1} < W_{i(\theta_1)\Phi}^{угр} \leq B_{i1}$	$B_{i1} < W_{i(\theta_1)\Phi}^{угр} \leq 1$
$j$	$0 < W_{i(\theta_j)\Phi}^{угр} \leq A_{ij}$	$A_{ij} < W_{i(\theta_j)\Phi}^{угр} \leq B_{ij}$	$B_{ij} < W_{i(\theta_j)\Phi}^{угр} \leq 1$
$J$	$0 < W_{i(\theta_J)\Phi}^{угр} \leq A_{iJ}$	$A_{iJ} < W_{i(\theta_J)\Phi}^{угр} \leq B_{iJ}$	$B_{iJ} < W_{i(\theta_J)\Phi}^{угр} \leq 1$

Таблица 6

ИВ	Категория угроз $i$ -му ОБ		
	Потенциальная	Непосредственная	Прямая
$\theta_j$	$0 < W_{i(\theta_j)\Phi}^{угр} \leq 0,30$	$0,30 < W_{i(\theta_j)\Phi}^{угр} \leq 0,80$	$0,80 < W_{i(\theta_j)\Phi}^{угр} \leq 1$

ние различных существующих качественных категорий угроз («красной», «оранжевой», «желтой», «прямой», «непосредственной» и т.п.).

Указанные категории угроз могут быть заданы табл. 5, в которой интервалы значений ( $A_{ij}$ ,  $B_{ij}$ ) вероятности  $W_{i(\theta_j)\Phi}^{угр}$  для каждого  $i$ -го ОБ применительно к  $j$ -му инциденту задаются экспертами.

В частности, границы диапазона значений вероятностей  $W_{i(\theta_j)\Phi}^{угр}$  могут быть такими:

$$A_{ij} = 0,20-0,30; B_{ij} = 0,80-0,85 \quad (12)$$

Так введение показателя степени угрозы И на ОТИ и ТС позволяет, количественно определить понятие степени угрозы совершения незаконного вмешательства в деятельность объектов ТКСС.

Принимая во внимание уровни безопасности объектов ТКСС и порядок их объявления (установления) получим качественную классификацию угроз (I – потенциальная угроза, II – непосредственная угроза, III – прямая угроза) и количественные значения диапазона вероятностей (12), табл. 5 для И-а в рассматриваемом случае может представляться в виде табл. 6.

В этом случае оцененную угрозу начала реализации И-а, характеризуемую вероятностью  $\overline{W}_{i(\theta_1)\Phi}^{угр} = 0,86$ , можно отнести к категории «прямая угроза».

Предложенная методика количественной оценки угрозы начала реализации И на ОБ, может быть использована для принятия научно-обоснованных решений по их защите и повышению эффективности системы управления в информационно-телекоммуникационных системах [12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 5 марта 1992 г. № 2446–1 «О безопасности».
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 13335–1–206 // Методы и средства обеспечения безопасности. Концепция и модели менеджмента безопасности информационных и телекоммуникационных технологий.
3. Пелешенко В. С., Говорова С. В., Лапина М. А. // Менеджмент инцидентов информационной безопасности защищенных автоматизированных систем управления: Ставрополь: СКФУ, 2017.
4. Михайлов Ю. Б. // Математические основы повышения точности прогнозирования количественных характеристик процессов. М.: Научтехлитиздат, 2000;
5. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. // Курс теории вероятностей и математической статистики. М.: Наука, 1965;
6. Бусленко Н. П. и др. // Метод статистических испытаний. М.: Сов. Радио, 1972.

7. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: Сов. Радио, 1972.
8. Семенов В. А. // Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие. Стандарт третьего поколения. СПб.: Питер, 2013.
9. Орлов А. И. // Экспертные оценки. Учебное пособие. М., 2002.
10. Чув Ю. В., Михайлов Ю. Б., Кузьмин В. И. // Прогнозирование количественных характеристик процессов. М.: Сов. Радио, 1971.
11. А. Г. Гранберг // Статистическое моделирование и прогнозирование. М.: Финансы и статистика, 1990.
12. Шилина А. Н., Кузнецова В. В., Гайдаревский А. А. // Предложения по оптимизации показателей эффективности системы управления в информационно-телекоммуникационных систем // Материалы III международной научно-практической конференции «Фундаментально-прикладные проблемы безопасности, живучести, надежности, устойчивости и эффективности систем» Часть I, Елец-2019.

---

© Назарова Ольга Юрьевна (olga2018rostov@yandex.ru), Сагдеев Александр Константинович (brother-aks@yandex.ru),  
Стахеев Иван Геннадиевич, Титова Ольга Викторовна, Шилина Анна Николаевна.  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Донской государственный технический университет

# УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ СРМ-СИСТЕМ

## INFORMATION TECHNOLOGY MANAGEMENT AS A COMPONENT OF CPM-SYSTEMS

*M. Odintsova*

*Summary.* The article raises the question of the possibilities of automating the information technology (IT) management process in accordance with modern standards and practices. Based on the completed review of modern standards, methods and practices of IT management, it was concluded that it is necessary to coordinate the goals and objectives of the development of IT infrastructure components with the strategic plans of the enterprise. The functionality and architecture of CPM-systems as a class of software products for automating enterprise management at all levels are considered. Analysis of the possibilities for automation of information technology management based on CPM-systems allows us to talk about the prospects for the development of information technologies in this direction.

*Keywords:* information technology management, IT, Performance Management, CPM-systems, ITIL, COBIT, ITOM.

**Одинцова Мария Александровна**

*К.э.н., доцент, РТУ МИРЭА (г. Москва)  
maryod@rambler.ru*

*Аннотация.* В статье ставится вопрос о возможностях автоматизации процесса управления информационными технологиями (ИТ) согласно современным стандартам и практикам. На основании выполненного обзора современных стандартов, методик и практик управления ИТ сделан вывод о необходимости согласования целей и задач развития компонентов ИТ-инфраструктуры со стратегическими планами предприятия. Рассмотрены функциональные возможности и архитектура СРМ-систем как класса программных продуктов для автоматизации управления предприятием на всех уровнях. Анализ возможностей автоматизации управления информационными технологиями на базе СРМ-систем позволяет говорить о перспективах развития информационных технологий в этом направлении.

*Ключевые слова:* управление информационными технологиями, ИТ, управление результативностью, СРМ-системы, ITIL, COBIT, ITOM.

### Введение

Управление информационными технологиями является важной составляющей успешного развития современных предприятий и повышения эффективности их функционирования. Хорошо организованная, грамотно спроектированная, с учетом особенностей деятельности компании, ИТ-инфраструктура является основой для стабильной работы и достижения поставленных целей предприятием. Необходимость управления информационными технологиями отмечают специалисты на проводимых конференциях [10] и форумах, об этом свидетельствует и повышающийся интерес бизнеса к услугам, связанным с поддержкой и обслуживанием ИТ-инфраструктуры, разработкой ИТ-стратегии.

На отечественном рынке представлены программные продукты для автоматизации деятельности ИТ-подразделений компаний, служб технической поддержки. Такие информационные системы, как правило, поддерживают процесс управления ИТ на оперативном уровне. Достаточно ли только их использования для комплексного и полномасштабного управления ИТ? Для ответа

на этот вопрос обратимся к современным стандартам и практикам управления ИТ.

### Обзор современных методик и подходов к управлению информационными технологиями

Подходы к управлению информационными технологиями формализованы в определенных стандартах и методиках. Среди наиболее значимых выделяют ГОСТы, международный стандарт TOGAF, библиотеку лучших практик ITIL, COBIT, методологию Дж. А. Захмана.

ГОСТы регламентируют основы описания жизненного цикла систем, процессы и соответствующую терминологию, стадии и этапы разработки автоматизированных информационных систем, а также процессы, работы, операции, выполняемые при приобретении программных продуктов или услуг, их поставке, разработке, эксплуатации, сопровождении и прекращении применения [5–7].

Стандарт TOGAF (The Open Group Architecture Framework) регламентирует архитектуру предприятия,

определяя слои: бизнес-архитектура, архитектура данных, приложений и технологическая архитектура. Стандарт также определяет подход к разработке архитектуры (ADM), являющийся итеративным и предполагающий разработку целевой архитектуры с учетом взглядов всех заинтересованных сторон, и ее детализацию, начиная с создания бизнес-архитектуры (архитектуры деятельности предприятия в соответствии с целевым видением).

ITIL (Information Technology Infrastructure Library) является одним из наиболее популярных стандартов по управлению ИТ-услугами в соответствии с ITSM (Information Technology Service Management) и ориентирован на согласование потребностей бизнеса с предоставляемыми ему ИТ-сервисами. Предыдущая версия руководства ITIL V.3 была опубликована в виде пяти книг, описывающих стратегию услуг, их проектирование, преобразование, эксплуатацию и непрерывное улучшение. В текущей версии ITIL V.4 представлено два ключевых компонента — система создания ценности услуг и модель четырех измерений (люди, продукты, партнеры, процессы). Одной из ключевых идей новой версии ITIL следует назвать совместное (с бизнесом) создание ценности, а не предоставление ее бизнесу посредством оказания услуг, как это было в V.3.

Актуальная версия COBIT 2019 является логичным продолжением предыдущей версии (COBIT 5 2012 г.) и поддерживает основную идею, согласно которой план развития информационных технологий должен базироваться на общекорпоративных целях развития предприятия. Данный стандарт сегодня ассоциируется прежде всего с оценкой зрелости процессов управления информационными технологиями, и COBIT 2019 предлагает модель для оценки зрелости и развития системы управления информационными технологиями и процессами с учетом, конечно же, потребностей бизнеса и общекорпоративных целей.

Необходимость согласования целей и задач развития информационных технологий с планами развития бизнеса четко прослеживается и в модели Дж. А. Захмана, описывающей архитектуру предприятия и определяющей подход к описанию каждого аспекта предприятия во взаимосвязи с остальными.

Представленный перечень методологий, стандартов и лучших практик не является исчерпывающим, к тому же они не заменяют, а скорее дополняют друг друга. О необходимости совместного использования стандартов, методологий и рекомендаций говорит появившейся в 2014 г. IT4IT — открытый стандарт и референсная архитектура управления ИТ. IT4IT делает акцент не на процессах, а на функциональных компонентах, которые используются в любых компаниях при управ-

лении информационными технологиями, независимо от того, какие подходы применяются на разных стадиях и в разных процессах.

В рассмотренных подходах отмечается необходимость согласовывать, а зачастую разрабатывать планы по управлению информационными технологиями в соответствии с целями и задачами развития бизнеса.

Управление информационными технологиями должно осуществляться на стратегическом уровне управления предприятием, «инструмент стратегического управления ИТ» должен являться «частью общей системы менеджмента компании» [2], а ИТ-стратегия должна отражать и поддерживать долгосрочные цели развития бизнеса. Таким образом, отправной точкой при управлении информационными технологиями следует считать планы развития предприятия.

### СРМ-системы как инструмент для разработки планов развития предприятия

При планировании развития предприятия наиболее популярным подходом сегодня является управление по целям и ключевым показателям эффективности, например, на основе сбалансированной системы показателей, а при организации работы персонала — управление результативностью — Performance Management. Использование сбалансированной системы показателей (ССП) позволяет определить общекорпоративные цели развития бизнеса и на их основе разрабатывать планы развития предприятия, детализируя их в разных временных горизонтах, а также для отдельных видов деятельности, подразделений, команд. Performance Management, дополняя СПП, позволяет эффективно осуществлять управление персоналом на основе поставленных целей и оценивать не только достигнутые результаты, но и соответствие сотрудников определенным требованиям, включая их компетенции, внешний вид и др. При этом специалисты отмечают необходимость не традиционной годовой оценки результатов и работы сотрудников, а постоянной или скользящей (со значительно меньшими лагами) оценки производительности и результатов деятельности — Ongoing Performance Management [14].

На информационно-программном уровне разработку стратегии развития предприятия и настраиваемую оценку результативности деятельности сотрудников поддерживают информационные системы класса СРМ (Corporate Performance Management) — системы управления эффективностью организаций. Также известны другие термины: ВРМ (Business Performance Management), ЕРМ (Enterprise Performance Management), ЕСМ (Enterprise Commerce Management), ВАМ (Business

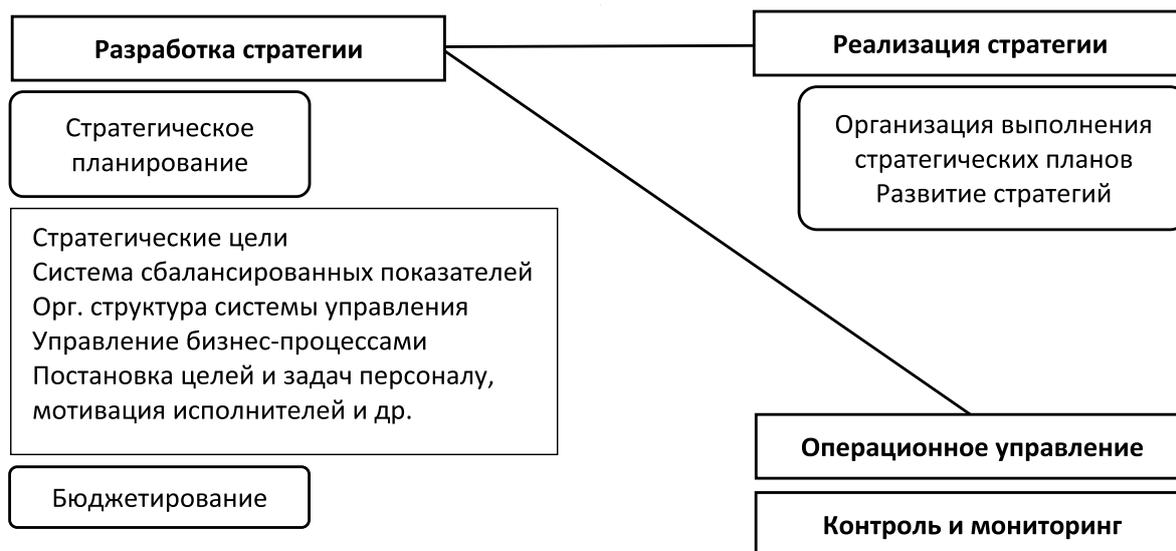


Рис. 1. Поддержка полного цикла управления предприятием CRM-системами [4]

Activity Management). Система данного класса поддерживают полный цикл управления предприятием, включая поддержку разработки стратегии, ее детализацию при тактическом планировании, постановку целей и задач сотрудникам, контроль и анализ деятельности. На российском рынке известны решения от таких компаний, как «Инталев», «1С», Intersoft Lab, Oracle, SAP, IBM и Adaptive Insights.

По данным исследований, управление результативностью является сегодня одним из востребованных направлений в менеджменте и в разработке информационных систем [3]. Компании, внедряющие управление по целям, показывают более высокие результаты, так как сотрудники ориентированы именно на результат, когда при традиционном подходе — на процесс, как это указано в должностных инструкциях. Еще одной положительной чертой следует считать более тесное взаимодействие руководителей и персонала: при постановке целей и задач исполнителям руководитель часто их обговаривает с подчиненными, благодаря чему задача становится ясной, и сотрудник понимает, что именно он должен сделать, и каким должен быть результат. Информационные системы, позволяют фиксировать все поставленные задачи, расставлять их приоритеты, напоминать о необходимости выполнения и регистрировать достигнутые результаты. При оценке деятельности персонала одной из тенденций является оценка не только достигнутых результатов, но и оценка знаний, навыков и других составляющих, характеризующих сотрудника, например, методом 360 градусов, причем оценивать может не только руководитель, но коллеги, клиенты и другие лица, контактирующие с оцениваемым и пользующиеся результатами его работы.

Системы класса CRM предоставляют пользователям инструменты, позволяющие:

- ◆ формировать консолидированную управленческую, финансовую отчетность за выбранный период;
- ◆ осуществлять стратегическое планирование;
- ◆ детализировать стратегические планы при создании тактических и оперативных планов;
- ◆ поддерживать принятие управленческих решений с помощью анализа накопленных данных и прогнозирования, а также построения оптимизационных и других экономико-математических моделей [13].

Системы класса CRM позволяют поддерживать полный цикл управления предприятием на всех уровнях (рис. 1).

Поддержка полного цикла управления предприятием осуществляется благодаря наличию в CRM-системах следующих компонентов:

- ◆ подсистема, предназначенная для реализации управления по целям;
- ◆ подсистема моделирования бизнеса предоставляет возможности для разработки сценариев работы предприятия с учетом потребляемых ресурсов, выявления узких мест с использованием различных экономико-математических методов, в том числе методов функционально-стоимостного анализа;
- ◆ подсистемы бюджетирования, планирования и прогнозирования, необходимые для анализа, поддержки принятия решений и планирования деятельности предприятия;

- ◆ подсистема интеллектуальной бизнес-аналитики, позволяющая консолидировать информацию из различных внутренних и внешних источников, структурировать ее и осуществлять анализ накопленных данных;
- ◆ подсистема финансовой и управленческой отчетности, позволяющая агрегировать и визуализировать накопленную информацию, предоставляя руководителям необходимые отчеты в различных разрезах и с различной степенью детализации [9].
- ◆ Таким образом, системы класса СРМ имеют все необходимые инструменты, позволяющие полномасштабно осуществлять управление предприятием на всех уровнях.

### Примеры систем класса СРМ, представленные на отечественном рынке

По оценкам специалистов [1], российский рынок СРМ-систем соответствует мировым трендам, а отечественные разработки являются качественными конкурентоспособными программными продуктами. При этом растет спрос на подобные информационные системы не только со стороны крупного, но и среднего бизнеса. Компании стремятся задействовать компоненты интеллектуального анализа систем для выявления закономерностей в накопленных данных и поддержки принятия управленческих решений.

Среди отечественных разработок весьма популярными являются решения от компаний «1С» и «Галактика». Рассмотрим их в качестве примеров.

Программный продукт «1С: Управление по целям и KPI» («ТопФактор») является тиражируемым решением для автоматизации целевого управления на базе «1С: Предприятие». В концепции данного решения управление по целям реализовано на стратегическом, тактическом и оперативном уровнях, а оценка результативности базируется на трех составляющих:

KPI (целевые значения ключевых показателей, например, финансовые и/или коммерческие показатели);

- ◆ задачи (SMART-задачи, например, этапы и вехи проектов, за которые отвечает сотрудник, поручения руководства);
- ◆ соответствие определенным требованиям — стандартам (данная информация может быть получена на основе оценки руководителя по заранее определенным критериям, оценки коллег, клиентов, соответствия профессиональным стандартам).

Таким образом, регистрируются и оцениваются не только количественные, но и качественные критерии. Далее эти данные сводятся воедино в матрице и выражаются в коэффициенте профессиональной результативности, учитывающем все оцениваемые аспекты. Конечно, данный показатель может быть использован для расчета вознаграждения сотруднику, но он также важен для принятия решений при управлении персоналом. При таком подходе сотрудник понимает, за какие задачи он отвечает, от чего зависит его вознаграждение, а руководитель может своевременно получать информацию о достигнутых результатах и корректировать планы. Система поддерживает формирование рейтингов сотрудников, а также разработку индивидуальных планов развития. Благодаря реализованным в программном продукте маршрутам оценки результативности и планирования, система автоматически выводит напоминания руководителям и сотрудникам о том, когда и какие задачи им необходимо выполнить.

Как и большинство систем данного класса, «1С: Управление по целям и KPI» является «надстройкой» и требует интеграции с учетными системами, системами бюджетирования для сбора информации и получения данных о достигнутых результатах и их сравнении с целевыми показателями [3].

При сравнении компаний «1С» и «Галактика» обычно отмечают масштаб бизнеса, на автоматизации которого они исторически специализировались. И если фирма «1С» начинала свои проекты с автоматизации малого и среднего бизнеса, то «Галактика» изначально была ориентирована на работу с крупными предприятиями, холдингами.

«Галактика СРМ» сегодня представлена линейкой программных продуктов, включающих в себя решения: «Галактика Бюджетирование», «Галактика Инвестиционное планирование», «Галактика Консолидация отчетности», «Галактика Казначейство», «Галактика BI» и является комплексным решением для автоматизации процессов бюджетирования, финансовой консолидации и формирования консолидированной отчетности предприятия [12]. Концепция решения реализована в двух основных аспектах:

- ◆ консолидация отчетности (по международным стандартам финансовой отчетности (МСФО), российским стандартам бухгалтерского учета (РСБУ), внутрикорпоративная и статистическая отчетность);
- ◆ планирование, включая бюджетирование, инвестиционное управление, казначейство и др.

Данные в систему попадают из внешних источников, сводных отчетов и транзакционных программных



Рис. 2. Управление ИТ как стратегическая задача развития предприятия

продуктов, проходят контроль и верификацию. Бизнес-процессы консолидации, бюджетирования настраиваются в системе, пользователям предоставляются возможности формирования финансовых планов для всех участников процесса с учетом разных горизонтов планирования и разных уровней детализации планов, поддерживая вариативный анализ и разработку альтернативных сценариев. В системе имеется конфигуратор для настройки бюджетной модели, которая доступна на уровне пользователя. Бюджеты формируются на верхнем уровне, включая бюджеты доходов и расходов, движения денежных средств, прогнозный баланс, и операционные бюджеты. Особое внимание уделено контролю выполнения регламентов финансового планирования, корректировки и мониторинга бюджетов и исполнительной дисциплины. План-фактный анализ имеет визуальное представление в виде дашбордов, диаграмм с возможностью агрегации и детализации по каждому рассматриваемому показателю [12].

В рассмотренных системах реализован проектный подход для решения задач. Для того, чтобы достичь поставленных целей нужно разработать план для их достижения, определив значения показателей, по которым можно судить о степени достижения целей на стратегическом, тактическом и оперативном уровне.

### Возможности автоматизации управления информационными технологиями на базе CRM-систем

Сегодня на рынке представлено большое количество программных продуктов, поддерживающих управление информационными технологиями и ИТ-инфраструктурой. Известен класс информационных систем оперативного управления ИТ и сетевой инфраструктурой — IT Operations Management, ITOM. Данные программные продукты позволяют автоматизировать различные составляющие ИТ-инфраструктуры, включая управление ИТ-сервисами, центром обработки данных и локальной сетью. Благодаря использованию систем данного класса появляется возможность консолидировать данные, получаемые из различных источников, осуществлять мониторинг всей ИТ-инфраструктуры, анализировать и контролировать различные параметры, такие как производительность, нагрузка, отслеживать действия пользователей. Это позволяет более эффективно осуществлять реагирование на инциденты и реализовывать проактивное управление ИТ. Программные продукты ITOM взаимодействуют с корпоративными системами на уровне API, обеспечивая коммуникации с ними.

Программное обеспечение ITOM поддерживает управление процессами согласно принятым стандар-

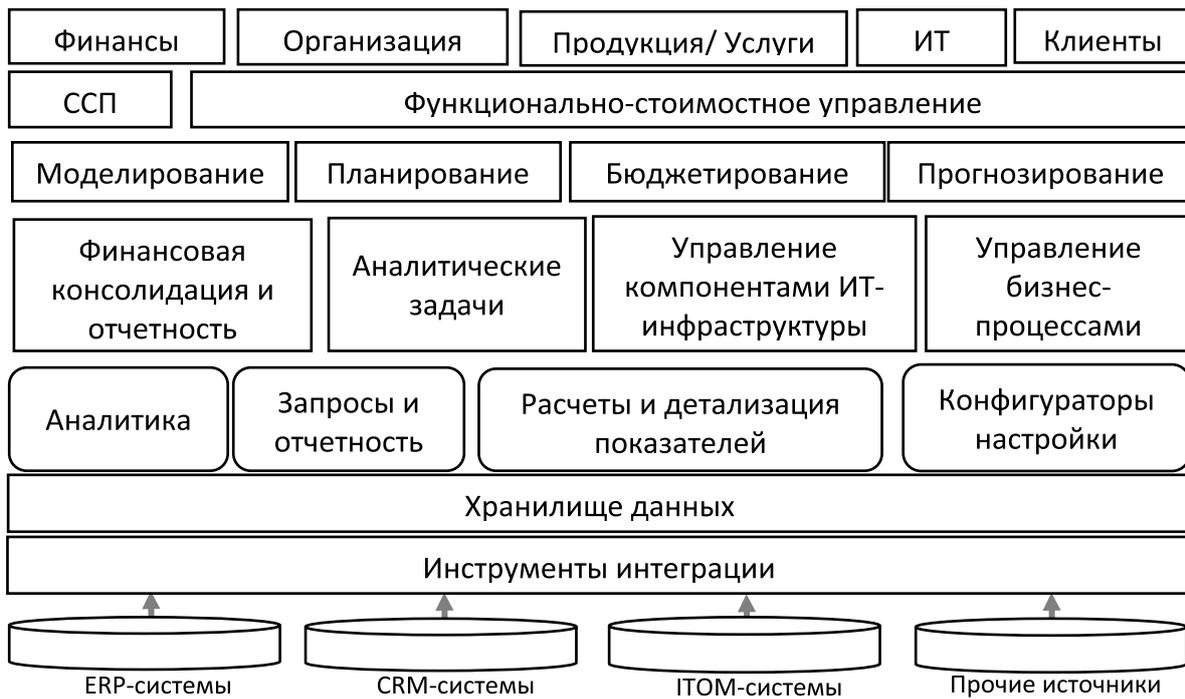


Рис. 3. Архитектура CPM-системы

там и методикам управления информационными технологиями, автоматизируя управления активами, доступностью, производительностью, конфигурациями, сервисами Service Desk и Help Desk и др. Так, например, «1С: ИТIL Управление информационными технологиями предприятия» соответствует ИТIL V.3 и поддерживает процессы:

- ◆ предоставления услуг (управление уровнем и каталогом услуг, непрерывностью и доступностью услуг, мощностями, информационной безопасностью и др.);
- ◆ управления отношениями с потребителями и подрядчиками;
- ◆ управления знаниями, инцидентами, проблемами;
- ◆ управления конфигурациями, активами, изменениями;
- ◆ управления релизами и событиями;
- ◆ организации Service Desk [15].

Таким образом, поддержка управления информационными технологиями в данном программном продукте осуществляется на оперативном уровне, что, конечно же, соответствует принципам систем ИТОМ — оперативного управления ИТ и сетевой инфраструктурой.

Тем не менее современные стандарты и практики управления ИТ, специалисты в области планирования развития ИТ-инфраструктуры говорят о необходимости

опираться на цели и задачи бизнеса при управлении информационными технологиями (рис. 2).

Автоматизировать управление информационными технологиями согласно принципам целевого управления можно на базе CPM-систем. Поскольку системы управления эффективностью организаций реализуют проектный подход к управлению различными видами деятельности и, являясь «надстройкой сверху», интегрируются с системами транзакционного типа. Таким образом, в CPM-системах осуществляется постановка целей и задач по управлению информационными технологиями, формируются планы с разным горизонтом реализации, назначаются ответственные, а ИТОМ-системы будут в этом случае являться поставщиками учетных данных (рис. 3).

На рис. 3 архитектура CPM-системы включает платформу «бизнес-интеллекта» (Business Intelligence, BI), а также подсистемы, поддерживающие управление. С помощью подсистемы сбалансированной системы показателей ставятся цели и задачи развития предприятия традиционно в четырех составляющих: финансы, организация бизнеса (внутренние бизнес-процессы), продукты / услуги, клиенты, дополнительно могут быть определены цели и задачи управления информационными технологиями. Для мониторинга текущей ситуации CPM-системы интегрируются с источниками корпоративной информации — ERP-, CRM-, ИТОМ-системами

и другими источниками. Такой вариант автоматизации управления ИТ соответствует современным стандартам и представляет собой перспективное направление в сфере комплексного управления предприятием.

### Заключение

Обзор современных практик, методик и стандартов в области управления информационными технологиями показывает необходимость разработки планов развития ИТ-инфраструктуры предприятия на стратегическом уровне согласно целям и задачам бизнеса. Автоматизировать эти задачи можно на базе систем класса СРМ. Благодаря реализуемому в системах данного класса проектному подходу ставятся цели и задачи для всех планируемых видов деятельности, включая управление информационными технологиями, разрабатываются бюджеты. Обратную связь с реализацией планов и фактическими данными СРМ-системы получают благодаря интеграции с системами транзакционного типа (ERP, CRM, ITOM и др.). Таким образом достигается поддержка полного цикла управления, включая планирование, организацию, контроль, учет и анализ достигнутых результатов.

зировать эти задачи можно на базе систем класса СРМ. Благодаря реализуемому в системах данного класса проектному подходу ставятся цели и задачи для всех планируемых видов деятельности, включая управление информационными технологиями, разрабатываются бюджеты. Обратную связь с реализацией планов и фактическими данными СРМ-системы получают благодаря интеграции с системами транзакционного типа (ERP, CRM, ITOM и др.). Таким образом достигается поддержка полного цикла управления, включая планирование, организацию, контроль, учет и анализ достигнутых результатов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Амириди Ю. В. 2019: Intersoft Lab: Российский СРМ-рынок достиг уровня зрелости // Tadviser [сайт]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F: Corporate\\_Performance\\_Management%2C\\_CPM\\_%28%D1%80%D1%8B%D0%BD%D0%BE%D0%BA\\_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8%29](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F: Corporate_Performance_Management%2C_CPM_%28%D1%80%D1%8B%D0%BD%D0%BE%D0%BA_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8%29) (дата обращения 11.01.2021).
2. Багинский К. Разработка ИТ-стратегии в крупных компаниях [сайт]. URL: [https://mipt.ru/upload/ed3/f\\_fy3f-argpx6mq5q.pdf](https://mipt.ru/upload/ed3/f_fy3f-argpx6mq5q.pdf) (дата обращения 11.01.2021).
3. Белов А. Автоматизация КРМ-управления в среднем и крупном бизнесе [сайт]. URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/kpi/materials> (дата обращения 11.01.2021).
4. Горячев Р. А., Ильина О. П. Информационные технологии управления эффективностью бизнеса — Business Performance Management. <http://tvvlibrary.parod.ru/papers/2007/04.pdf> (дата обращения 11.01.2021).
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207—2010 (полное наименование: ИСО/МЭК 12207—2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств).
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288—2005 (полное наименование: ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288—2005. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем).
7. ГОСТ 34.601—90 (полное наименование: ГОСТ 34.601—90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания).
8. Китова О. В., Дьяконова Л. П. Информационно-аналитические технологии и сервисы в экономике и образовании // Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2016): сборник научных трудов XIX научно-практической конференции. 26—27 апреля 2016 г. / под науч. ред. Ю. Ф. Тельнова. — Москва: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2016. — с. 30—36.
9. Конференция «Управление информационными технологиями в России 2020», [сайт]. URL: <https://ict2go.ru/events/19315/> (дата обращения 11.01.2021).
10. Обзор tAdviser СРМ 2016. Системы повышения эффективности работы предприятия [сайт]. URL: <http://www.tadviser.ru/index.php/CPM> (дата обращения 29.12.2020).
11. Петрушов А. Запись вебинара «Отечественному рынку — отечественная ERP» [сайт]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=3d1LLIRZyMs> (дата обращения 11.01.2020).
12. СРМ — Corporate Performance Management [сайт]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F: CPM\\_-\\_Corporate\\_Performance\\_Management](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F: CPM_-_Corporate_Performance_Management) (дата обращения 03.01.2021).
13. The Value of Ongoing Performance Management. Brandon Hall Group, 2015 [сайт]. URL: <http://www.iitd.ie/Portals/0/Knowledge%20Centre/The-Value-of-Ongoing-Performance-Manangement.pdf> (дата обращения 11.01.2021).
14. С: ITIL Управление информационными технологиями предприятия [сайт]. URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/itil/features> (дата обращения 11.01.2021).

© Одинцова Мария Александровна (maryod@rambler.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# О СХОДИМОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О НАГРУЖЕНИИ ДВУХФАЗНОГО ОСНОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**ON THE CONVERGENCE OF THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF LOADING A TWO-PHASE BASE BY THE FINITE ELEMENT METHOD**

**T. Saltanova**

*Summary.* The article considers a model describing the stress-strain state of a two-phase body. A mathematical model is a system of partial differential equations that has no analytical solution. A numerical solution method is proposed, its convergence is shown, and the numerical solution is analyzed with a full-scale experiment.

*Keywords:* model of the stress-strain state of a two-phase body, convergence of the method, finite element method, stiffness matrix of a two-phase element, Hooke's law, Fleman's problem, numerical experiment.

**Салтанова Татьяна Викторовна**

Доцент, Тюменский государственный университет  
tsaltanova@mail.ru

*Аннотация.* В статье рассмотрена модель, описывающая напряжённо-деформированного состояния двухфазного тела. Математическая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений в частных производных, которая не имеет аналитического решения. Предложен численный метод решения, показана его сходимость, а также проведён анализ численного решения с натурным экспериментом.

*Ключевые слова:* модель напряжённо-деформированного состояния двухфазного тела, сходимость метода, метод конечных элементов, матрица жёсткости двухфазного элемента, закон Гука, задача Фламана, численный эксперимент.

## Введение

**В** работе использована модель напряжённо-деформированного состояния двухфазного тела (скелет грунта + поровая вода). Данная модель описывает стабилизированное состояние двухфазного грунта после окончания процесса консолидации. Согласно, рассматриваемой модели, остаточное поровое давление отлично от нуля, что подтверждается натурными и лабораторными экспериментами [1]. Для этой модели разработана модификация метода конечных элементов и на задаче типа Фламана показаны результаты численного моделирования. Сформулировано предложение и показана сходимость решения, полученного по МКЭ к аналитическому решению. Результаты численных расчётов сопоставлены с аналитическим решением.

## Постановка задачи

Рассмотрим смешанную задачу о загрузении внешней нагрузкой водонасыщенного основания с учётом избыточных остаточных поровых давлений.

$$-\left( (G + \lambda) \frac{\partial \theta}{\partial x_i} + G \Delta u_i + b_i \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_i^2} + c_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) = F_i, \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

$$G = \frac{E_s}{2(1 + \nu)}, \quad \lambda = \frac{E_s \nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}, \quad b_i = \frac{E_i^l}{\aleph_i^2}, \quad c_i = \frac{E_i^l}{\aleph_i h_i},$$

$$\theta = \text{div } u$$

с неоднородными смешанными граничными условиями: на одной части границы  $S_2$  записываются статические граничные условия, а на другой  $S_1$  — кинематические:

$$u \Big|_{S_1} = 0, \quad t^{(v)} \Big|_{S_2} = q(x_1, x_2), \quad (2)$$

$$t^{(v)} = \sum_{i,k=1}^2 \left( \sigma_{ik} + b_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \cos(\nu, x_k) e_i =$$

$$= \sum_{i,k=1, k \neq i}^2 ((2G + b_i) \epsilon_i + \lambda \epsilon_{ik} + \sigma_{ik}) \cos(\nu, x_k) e_i.$$

$\nu$  — внешняя нормаль к поверхности  $S = S_1 + S_2$ . Касательные напряжения по модели действуют только в скелете грунта,  $q(x_1, x_2)$  — вектор функция, имеющая конечную норму.

Введем три дифференциальных вектора-оператора на линеале  $M$  функций  $u$ , непрерывных вместе со своими первыми и вторыми частными производными в  $\bar{\Omega}$  и удовлетворяющих условиям (2), (множество  $M$  плотно в  $L_2(\Omega)$ ):

а) дифференциальный вектор-оператор теории упругости или оператор Ламе, записанный для изотропного варианта закона Гука

$$A = (G + \lambda) \operatorname{grad} \operatorname{div} + G \Delta;$$

б) дифференциальный вектор-оператор второго порядка

$$B = \left( b_1 \frac{\partial^2}{\partial x_1^2}, \quad b_2 \frac{\partial^2}{\partial x_2^2}, \quad b_3 \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \right),$$

который описывает изменение коэффициентов Ламе на величины  $b_i$ , вызванное влиянием поровой воды на скелет грунта;

в) дифференциальный вектор-оператор первого порядка

$$C = \left( c_1 \frac{\partial}{\partial x_1}, \quad c_2 \frac{\partial}{\partial x_2}, \quad c_3 \frac{\partial}{\partial x_3} \right),$$

моделирующий разгружающее влияние жидкой фазы и несимметричен.

Запишем уравнения (1) в операторном виде:

$$Du = F, \quad D = -(A + B + C), \quad u = (u_1, u_2),$$

$$F = (F_1, F_2), \quad (3)$$

где  $F$  — заданная вектор функция, имеющая конечную норму.

Краевые условия, которым обязательно удовлетворяют функции из области определения оператора и обязательно — функции из пространства  $W^{1,2}$  называются естественными для дифференциального оператора  $D$ . В работе [5] показано, что он является положительно определенным.

Обобщенным решением краевой задачи назовем функцию  $u \in V$  такую, что согласно принципу Лагранжа ( $v$  — возможное перемещение)

$$(Du, v) = (F, v), \quad \forall v \in V, \quad F \in L_2(\Omega),$$

$$(F, v) \in V^*, \quad V = \dot{W}^{1,2}(\Omega).$$

После интегрирования по частям получаем (форма Галеркина)

$$a(u, v) + c(u, v) = (F, v) + \int_{S_2} v \cdot t^{(v)}(u) dS, \quad (4)$$

где

$$a(u, v) + c(u, v) = (F, v) + \int_{S_2} v \cdot t^{(v)}(u) dS,$$

$$c(u, v) = - \int_{\Omega} c_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} v_i dx.$$

Требование обращения в нуль  $v$  на части границы указывается как

$$v \in \dot{W}^{1,2}(\Omega).$$

Пространство  $\dot{W}^{1,2}(\Omega)$  — пространство Соболева с нормой

$$\|u\|_{1,2} = \|u\|_{\dot{W}^{1,2}(\Omega)} = \left( \int_{\Omega} |\nabla u|^2 dx \right)^{1/2}.$$

Пространство  $V^*$  сопряженное к  $V$ .

Пусть  $V$  — гильбертово пространство,  $b(u, v)$  — коэрцитивная непрерывная билинейная форма на  $V \times V$ :

$$b(u, u) \geq \alpha \|u\|_V^2 \quad \forall u \in V \quad (5)$$

и  $l$  — линейная непрерывная форма на  $V$ . Обозначим через  $u$ , единственное решение в  $V$  уравнения

$$b(u, v) = \langle l, v \rangle \quad \forall v \in V \quad (6)$$

Необходимо аппроксимировать этот элемент  $u$ , зададим какую — либо внешнюю устойчивую и сходящуюся аппроксимацию пространства  $V$ , т.е.  $\{V_h, p_h, r_h\}_{h \in N}$ .  $V_h$  — возрастающая последовательность конечномерных подпространств  $V$ , объединение которых плотно в  $V$ ,  $p_h : V_h \rightarrow L_2(\Omega)$  — оператор продолжения,  $r_h : V \rightarrow V_h$  — оператор сужения. Для каждого  $h \in N$  зададим также непрерывную билинейную форму  $b_h(u_h, v_h)$  на  $V_h \times V_h$ , которая коэрцитивна, и удовлетворяет условию:

$\exists \alpha_0 > 0$ , не зависящее от  $h$ , такое что

$$b_h(u_h, u_h) \geq \alpha_0 \|u_h\|_h^2 \quad \forall u_h \in V_h \quad (7)$$

где непрерывную линейную форму  $l_h$  на  $V_h$ , такую что

$$\|l_h\|_{*h} \leq \beta, \quad \beta \text{ не зависит от } h. \quad (8)$$

Для фиксированного  $h$  найдём  $u_h \in V_h$  такое что

$$b_h(u_h, v_h) = \langle l_h, v_h \rangle \quad \forall v_h \in V_h \quad (9)$$

Примем следующие предложения о согласованности:

Если семейство  $v_h$  слабо сходится к  $v$  при  $h \rightarrow 0$  и если семейство  $w_h$  сильно сходится к  $w$  при  $h \rightarrow 0$ , то

$$\begin{aligned} \lim_{h \rightarrow 0} b_h(v_h, w_h) &= b(v, w) \\ \lim_{h \rightarrow 0} b_h(w_h, v_h) &= b(w, v) \end{aligned} \quad (10)$$

Если семейство  $v_h$  слабо сходится к  $v$  при  $h \rightarrow 0$ , то

$$\lim_{h \rightarrow 0} \langle l_h, v_h \rangle = \langle l, v \rangle \quad (11)$$

**Теорема.** При выполнении предположений (5), (7), (8) (10), и (11) решение  $u_h$  уравнения (9) сильно сходится к решению  $u$  уравнения (6) при  $h \rightarrow 0$ . [6]

Данную теорему используем ниже.

Пусть  $\Omega$  — открытая ограниченная область в  $R^2$ . Через  $\mathfrak{Z}_h$  будем обозначать регулярную триангуляцию  $\Omega$ , т.е. семейство двумерных симплексов удовлетворяющих условию

$$\sigma(h) \leq \alpha, \text{ при } \rho(h) \rightarrow 0, \quad (12)$$

где

$$\rho(h) = \sup_{J \in \mathfrak{Z}_h} \rho_J, \rho'(h) = \inf_{J \in \mathfrak{Z}_h} \rho'_J, \sigma(h) = \sup_{J \in \mathfrak{Z}_h} (\rho_J / \rho'_J).$$

где  $\rho = \rho_J$  — диаметр наименьшего шара, содержащего  $J$  (двумерный симплекс, в частности треугольник, прямоугольник), а  $\rho' = \rho'_J$  — диаметр наибольшего шара содержащегося в  $J$ .

Сформулируем следующее предложение.

**Предложение.** Если  $\rho(h) \rightarrow 0$  и  $\sigma(h) \leq \alpha$ , то решение  $u_h$  задачи (2.9) сходится к решению  $u$  задачи (2.6).

**Доказательство.**

**Форма  $d(u, v) = a(u, v) + c(u, v)$  в ограниченной области  $V$  является коэрцитивной, билинейной непрерывной []:**

$$d(u, u) \geq \gamma^2 \|u\|_V^2,$$

обладающая условием не симметрии,

$$c(u, v) = -c(v, u) - \int_{S_2} c_i u_i^2 v_i^2 \cos(v, x) dx \quad \forall u, v \in V.$$

Обозначим в (9)

$$b_h(u_h, v_h) = d(u_h, v_h), \langle l_h, v_h \rangle = (F, v_h) + \int_{S_2} v_h \cdot q dS.$$

Тогда условия теоремы сходимости (2.5), (2.7), (2.8) (2.10), и (2.11) выполняются, что и доказывает предложение. □

Таким образом мы показали сходимость решения получаемого по МКЭ к решению исходной задачи.

### Модификация метода конечных элементов

Перепишем систему уравнений (1) в операторном виде и скалярно умножим уравнение на вектор возможных перемещений  $v$ :

$$-(A + B + C)u, v = (F, v), \quad (13)$$

Отрицательные операторы  $A, B, C$  являются положительно определёнными [2].

Закона Гука для скелета грунта в рассматриваемой модели имеет вид:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\},$$

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{(1-\nu)E_s}{(1+\nu)(1-2\nu)} + \frac{E_{11}}{\mathfrak{N}_1^2} & \frac{\nu E_s}{(1+\nu)(1-2\nu)} & 0 \\ \frac{\nu E_s}{(1+\nu)(1-2\nu)} & \frac{(1-\nu)E_s}{(1+\nu)(1-2\nu)} + \frac{E_{12}}{\mathfrak{N}_2^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{E_s}{2(1+\nu)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{pmatrix}, \quad (14)$$

Фигурными скобками обозначен вектор — столбец, квадратными скобками — полная матрица.

Искомыми величинами являются узловые перемещения  $\{\delta\}$ , поэтому перемещения  $u_k$  и другие характеристики внутри элемента записываются через искомые узловые перемещения:

$$\begin{aligned} u_k &= \frac{1}{2\Delta} [(p_i + d_i x_1 + n_i x_2)u_k^i + (p_j + d_j x_1 + n_j x_2)u_k^j + \\ &+ (p_m + d_m x_1 + n_m x_2)u_k^m], \quad k = 1, 2 \end{aligned} \quad (15)$$

$$p_i = x_1^j x_2^m - x_1^m x_2^j, \quad n_i = x_1^m - x_2^j, \quad d_i = x_2^j - x_2^m.$$

На основании уравнений Коши относительные деформации внутри конечного элемента площадью  $\Delta$  выражаются через искомые узловые перемещения  $\{\delta\}$ :

$$\{\varepsilon\} = [N]\{\delta\}, \quad \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{pmatrix} = \frac{1}{2\Delta} \begin{pmatrix} d_i & 0 & d_j & 0 & d_m & 0 \\ 0 & n_i & 0 & n_j & 0 & n_m \\ n_i & d_i & n_j & d_j & n_m & d_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1^i \\ u_2^i \\ u_1^j \\ u_2^j \\ u_1^m \\ u_2^m \end{pmatrix}.$$

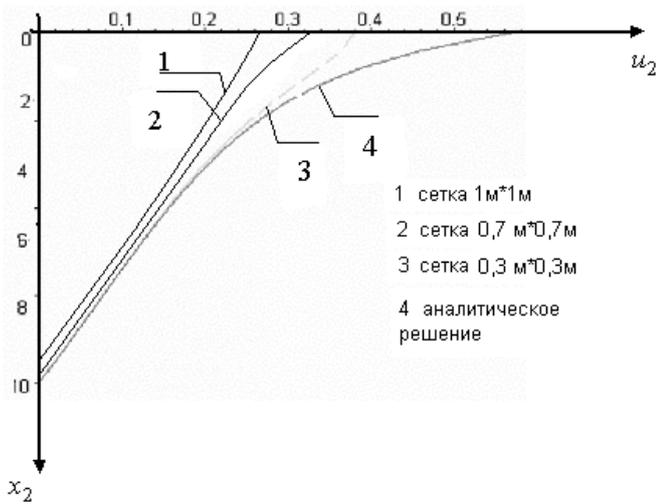


Рис. 1. Вертикальные перемещения для сечения  $x_1=0$ .

Для составления системы линейных алгебраических уравнений используем первые два слагаемые выражения (13)  $-(A+B)u, v$ . Пусть вектор  $V$  описывает возможные узловые перемещения  $\{\delta^*\}$ . Допустим, что возможные перемещения совпадают с искомыми перемещениями  $\{\delta\}$ .

Запишем работу внешних сил  $\{\delta\}^T [F]$  через удельную работу внутренних сил

$$2(W^A + W^B) = \{\varepsilon\}^T \{\sigma\}, \{\varepsilon\}^T = \{\delta\}^T [N]^T,$$

отвечающих скелету грунта.

От удельной работы перейдём к работе внутренних сил в пределах объёма элемента единичной толщины.

$$\int_s \{\varepsilon\}^T \{\sigma\} \cdot 1 dS = \{\varepsilon\}^T \{\sigma\} \cdot \Delta \cdot 1, \int_s dS = \Delta = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & x_1^i & x_2^i \\ 1 & x_1^j & x_2^j \\ 1 & x_1^m & x_2^m \end{vmatrix},$$

Уравнение равенства работ внешних и внутренних сил запишем с помощью матриц:  $\Delta \cdot \{\delta\}^T [N]^T \{\sigma\} = \{\delta\}^T \{F\}$ . Сократим на  $\{\delta\}^T$ . Тогда выражение  $-(A+B)u, u = (F, u)$  получит матричную запись:

$$\Delta \cdot [N]^T [D] \cdot [N] \{\delta\} = \{F\}.$$

Произведение

$$\Delta \cdot [N]^T [D] \cdot [N] = [k_s] \tag{16}$$

называют матрицей жёсткости для скелета грунта.

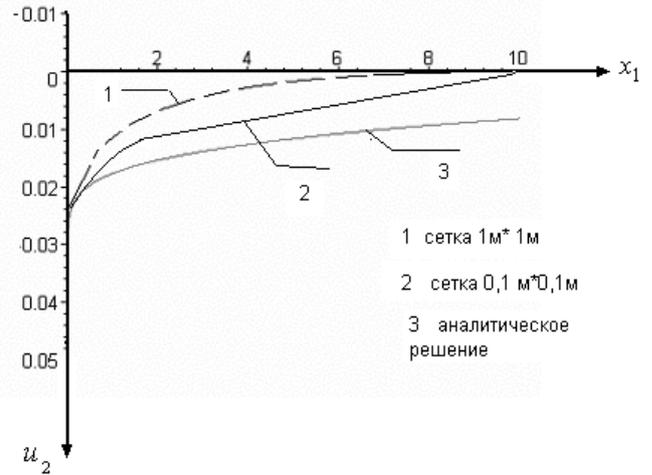


Рис. 2. Вертикальные перемещения дневной поверхности.

После аналогичных преобразований для третьего слагаемого имеем:

$$(-Cu, u) = \{\delta\}^T [M]^T \{P_i\}^T \Delta. \tag{17}$$

$$[M] = \frac{1}{2A} \begin{pmatrix} f_i & 0 & f_j & 0 & f_m & 0 \\ 0 & f_i & 0 & f_j & 0 & f_m \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$f_k = p_k + d_k x_c + n_k x_c$ ,  $x_c$  — центр тяжести треугольного элемента.

$$\{P_i\}^T = \begin{pmatrix} \frac{E_{11}}{S_1 h_1} \varepsilon_1 \\ \frac{E_{12}}{S_2 h_2} \varepsilon_2 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{E_{11}}{S_1 h_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{E_{12}}{S_2 h_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_2 \end{pmatrix} = [D_i] \{\varepsilon_s\}.$$

После подстановки полученных выражений в (17) получаем матрицу жёсткости для поровой воды:

$$[M]^T [D_i] \cdot [N] \Delta = [k_i]. \tag{18}$$

Поскольку матричный сомножитель  $[N]$  в матрице  $[k_i]$  сохраняется, то новое матричное слагаемое  $[M]^T [D_i]$  надо сложить с известной для скелета грунта матрицей  $[N]^T [D]$ , что приведёт к новой матрице жёсткости для двухфазного треугольного элемента

$$[k_{st}] = ([N]^T [D] + [M]^T [D_i]) \cdot [N] \cdot \Delta.$$

Численные эксперименты

Приведём результаты решения задачи типа Фламана о загрузении двухфазной полуплоскости. В работе [3] получена аналитическая формула для этой задачи, которая позволит проверить точность аппроксимации данного метода. Аналитическое решение задачи имеет вид:

$$u_{sr} = \frac{2F(1-\nu^2)\cos\theta}{\pi\left(E_s + \frac{E_l}{\aleph^2}\right)} \cdot e^{-a^2r} \left[ \ln \frac{R}{r} - \int_{\rho}^r \frac{e^{a^2r} - 1}{a^2r} d(a^2r) \right],$$

$$u_{s\theta} = \frac{2F \sin \theta}{\pi\left(E_s + \frac{E_l}{\aleph^2}\right)} \left( \nu(1+\nu) + (1-\nu(1+\nu)a^2r) \cdot e^{-a^2r} \left[ \ln \frac{R}{a^2r} - \int_{\rho}^r \frac{e^{a^2r} - 1}{a^2r} d(a^2r) \right] \right),$$

$$a^2 = \frac{E_l}{\left(E_s + \frac{E_l}{\aleph^2}\right) \cdot \aleph \cdot h}.$$

Так как задача решена в полярных координатах, то для вертикальных перемещений возьмём угол  $\theta = 0$ , а для горизонтальных

$$\theta = \frac{\pi}{2}.$$

Приведём графики вертикальных и горизонтальных перемещений в сравнении с аналитическим.

Параметры задачи взяты из лабораторных экспериментов [4]:  $h = 10 м$ ,  $\aleph = 0,52$ ,  $F = 0,077 МПа$ ,  $E_s = 8,1 МПа$ ,  $E_l = 0,4 E_s$ .

Как видно из графиков, изображённых на рисунках 1 и 2 аналитическое решение достаточно хорошо согласуется с решением полученным по методу конечных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бай В. Ф., Мальцева Т. В., Набоков А. В. Механические характеристики двухфазного грунта // Известия вузов. Нефть и газ. 2002, № 2 — С. 98–106.
2. Мальцева Т. В. Введение функционала для решения обобщённой системы уравнений Ляме // вестник Тюменского Государственного Университета. 2003, № 5. — С. 196–202.
3. Мальцева Т. В. Фундаментальное решение задачи Фламана для двухфазной вязкоупругой полуплоскости. // Известия вузов. Нефть и газ. — 2000. — № 2. — С. 72–78.
4. Мальцев Л. Е., Бай В. Ф., Мальцева Т. В. Кинематическая модель грунта и биоматериалов. — С-Пб.: Стройиздат С-Пб., 2002. — 336 с.
5. Мальцева Т. В. Математическое моделирование напряжённо — деформированного состояния водонасыщенного грунта с позиций теории вязкоупругости: диссертация доктора. физико-матем. наук.
6. Р. Темам. Уравнение Навье — Стокса теория и численный анализ. — М.: Мир., 1981. — 408с.

© Салтанова Татьяна Викторовна ( tsaltanova@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# НЕШТАТНЫЕ СИТУАЦИИ В КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ И ПРИНЦИПЫ ИХ ПАРИРОВАНИЯ

**Соловьев Сергей Владимирович**

*К.т.н., Ведущий конструктор, ПАО РКК «Энергия»*

*С. П. Королёва*

*sergey.soloviev@scsc.ru*

## EMERGENCY SITUATIONS IN SPACE TECHNOLOGY AND THE PRINCIPLES OF THEIR PARRY

**S. Solovyov**

*Summary.* The article presents the concept and classification of emergency situations used in the theory of space flight control. The causes of emergency situations, signs of their manifestation and consequences of their impact on space technology during orbital flight are determined. The resulting information about actions for detecting and determining emergency situations in the process of spacecraft flight control is provided. The approach implemented by the on-Board control system of a modern spacecraft in terms of detecting failures, isolating failed equipment, and restoring functionality is briefly presented. The principles of responding to abnormal situations and temporary plan of action at the same time.

*Keywords:* spacecraft, emergency situation, state analysis, flight control, parry.

*Аннотация.* В статье представлено понятие и классификация нештатных ситуаций применяемое в теории управления космическими полетами. Определены причины возникновения нештатных ситуаций, признаки их проявления и последствия их воздействия на космическую технику в процессе орбитального полета. Приведены результирующие сведения об действиях по обнаружению и определению нештатных ситуаций в процессе управления полетом космических аппаратов. Кратко представлен подход реализуемый бортовым комплексом управления современного космического аппарата в части обнаружений отказов, изоляции отказавшего оборудования и восстановления функциональных возможностей. Сформулированы принципы парирования нештатных ситуаций и временная циклограмма действий при этом.

*Ключевые слова:* космический аппарат, нештатная ситуация, анализ состояния, управление полетом, парирование.

## Введение

**У**правление полетом любого космического аппарата (КА) обязательно включает в качестве неотъемлемого элемента осуществление того или иного вида контроля, предполагающего наличие обратной связи по контролируемым переменным. Результат контроля достигается за счет осуществления анализа параметров состояния контролируемого КА. Обобщенное понятие «Состояние КА» включает в себя совокупность процессов, режимов работы составных частей КА, параметров орбитального движения и движения КА вокруг его центра масс, определяющее возможность реализации запланированной программы полета.

В конечном итоге, после проведения всех последовательных действий при проведении контроля, как правило, оператором службы управления формируется заключение (обобщения) о состоянии КА и результаты выполнения запланированной программы полета. Очевидно, что существует как минимум два варианта заключения.

Первое — соответствует нормальному состоянию КА, т.е. все значения телеметрических параметров находятся в области допустимых значений, определенных в экс-

плуатационной документации, конфигурация составных частей КА соответствует запланированной или неизменной относительно предыдущей, а также все запланированные операции и режимы работы составных частей выполнены или выполняются в соответствии с программой полета. Второе заключение является диаметрально противоположным, а именно не нормальным, то есть не выполняется хоть одно их перечисленных условий. Данная ситуация является как минимум ненормальной или нештатной. Подобное заключение приводит к дополнительным действиям в процессе управления полетом КА направленным на локализацию, идентификацию и принятию неотложных мер по парированию или устранению последствий всеми имеющимися способами и средствами как на борту КА, так и дополнительными возможностями которые имеет наземный комплекс управления (НКУ).

## Классификация нештатных ситуаций

В общем случае, в космической технике термин «нештатная ситуация» (НШС) определяется как совокупность условий или обстоятельств, обусловленную действием возмущающих факторов, отличающихся от предусмотренных проектами, нормами и регламентами и ведущих к возникновению опасных состояний, угрозу выполнения программы полета или безопасности экипажа КА.

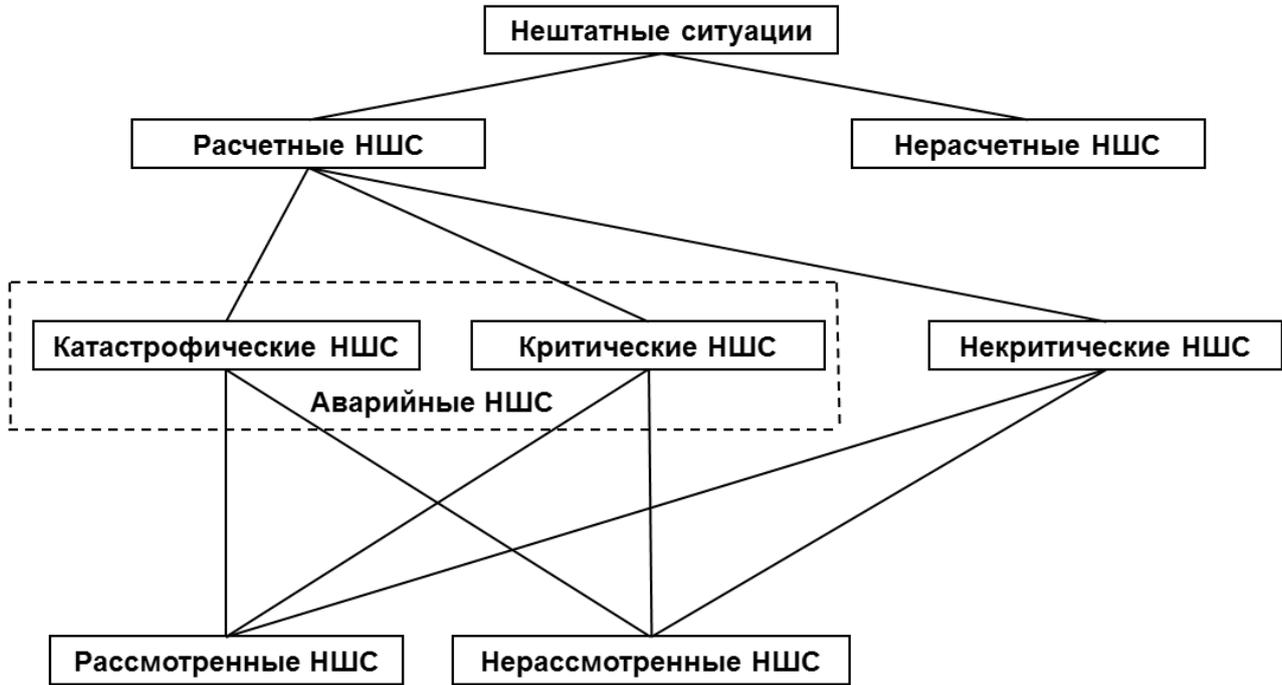


Рис. 1. Классификация НШС в космической технике.

НШС классифицируют в первую очередь по возможности определения, рассмотрения и описания на этапе проектирования КА, а именно:

- ◆ расчетная, выход из которой предусмотрен и описан в документации;
- ◆ не расчетная, выход из которой невозможен или осуществляется с низкой вероятностью.

Поскольку расчетные НШС описываются на этапе создания КА, то конструктивно КА создается при условии парирования этих НШС. На этом этапе разрабатываются как аппаратные, так и логические способы, позволяющие преодолеть НШС. Важным моментом является и то что первичной целью становится обеспечение выполнения программы полета при условии обеспечении безопасности экипажа КА и КА в целом.

С этой целью описание каждой конкретной расчетной НШС содержит следующую информацию:

- ◆ форма проявления данной НШС;
- ◆ отображение данной НШС языком ТМП и параметров, наблюдаемых экипажем КА;
- ◆ возможные причины возникновения данной НШС;
- ◆ вероятная динамика развития данной НШС;
- ◆ расчетные значения временных параметров данной НШС, располагаемое время;
- ◆ Методика оперативного определения располагаемого времени на останов развития НШС;
- ◆ программа действий по ликвидации данной НШС;

- ◆ программа действий в случае, если ликвидация НШС не может быть завершена до наступления её критической фазы (программа «спасательной операции»);
- ◆ ресурсы, необходимые для выхода из НШС;
- ◆ рекомендации по уточнению плана дальнейшего полёта, связанных с возникновением данной НШС.

Расчетные НШС в зависимости от тяжести последствий, к которым они могут привести, если не будут своевременно ликвидированы, можно подразделить три вида:

- ◆ катастрофическими, т.е. сложившиеся в результате неустранимых НШС и приводящие к неспособности КА выполнять дальнейшую программу полета, в том числе и утрата возможности управления полётом КА;
- ◆ критические, т.е. которые могут привести к потере функций КА или снижения ее ниже определенной величины что приводит к невозможности выполнения программы полета КА в полном объеме;
- ◆ некритические, т.е. не приводящие к критическим и катастрофическим последствиям для КА и/или экипажа КА, а также не приводящая к изменению программ полета.

Катастрофические и критические НШС также объединяются в категорию, именуемую аварийными НШС.

## Причины, признаки и последствия нештатных ситуаций

Опираясь на анализ накопленного опыта эксплуатации КА различного назначения, можно констатировать, что в основе возникновения НШС лежат следующие основные первопричины, в том числе:

- ◆ неисправность в составных частях, приборах, агрегатах или в элементах конструкции КА;
- ◆ ошибка экипажа КА;
- ◆ внешние воздействующие факторы космического пространства на КА и его оборудование;
- ◆ ошибка или нарушение правил эксплуатации КА, включая некорректные управляющие воздействия на КА со стороны наземного персонала управления;
- ◆ нарушение информационного обмена между КА и НКУ;
- ◆ неисправности в технических средствах НКУ;
- ◆ заболевание или травма проводящая к частичной потере работоспособности членов экипажа КА.

Необходимо отметить, несмотря на указанные причины, которые имели место в практике эксплуатации космической техники, подавляющее большинство НШС связаны с неисправностями в радиоэлектронных приборах КА. Кроме того, КА включает большое число различных радиоэлектронных приборов, а некоторые современные КА, полностью состоят из подобных приборов, а число отдельных электрорадиоизделий превышает сотню тысяч.

Современные КА создаются, как правило, используя базовый проектный принцип, состоящий в обеспечении стойкости КА к единичному отказу или НШС в отдельно взятом приборе КА. Этот принцип предполагает, что бортовой комплекс управления (БКУ) автоматически, без участия наземных средств управления и персонала управления способен выявлять, изолировать и парировать сбои в работе программного обеспечения бортовых вычислительных средств и приборов КА. Реализуется данный принцип на базе самостоятельной технологии обнаружения, изоляции и восстановления за счет возможностей бортового программного обеспечения БКУ. Конструктивно КА на всех этапах полета обеспечивается необходимыми алгоритмами и аппаратными средствами для обнаружения отказа, изоляции отказавшего оборудования и восстановления работоспособности за счет включения в работу резервных элементов в автономном режиме при любом отказе с целью обеспечения выживания КА и минимизации последствий аварии и потребления ресурсов КА (топлива, энергии из аккумуляторных батарей и т.п.). В случае обнаружения отказа средствами БКУ выполняется реконфигурация оборудования КА, используются резервные режимы управления или осу-

ществляется перевод КА в безопасный режим на время автономного функционирования КА. Безопасный режим должен предотвращать дальнейшее ухудшение состояния КА и минимизировать энергопотребление КА и обеспечить гарантированную генерацию электрической энергии. Безопасный режим должен позволить КА выживать без какого-либо контакта с НКУ в течение, по крайней мере, периода автономности. На этапе выведения КА в составе ракеты-носителя, данная технология обнаружения отказа и алгоритм парирования отказов выполняется только для единичных отказов жизненно важных функций КА (например, терморегулирование, электроснабжение). После отделения КА от ракеты-носителя механизмы обнаружения, изоляции и восстановления отказавшего оборудования автоматически активизируются в полном объеме. После выведения пилотируемых КА первыми проверяются составные части, обеспечивающие возможность возвращения и посадки экипажа на Землю, а для автоматических КА те составные части, которые обеспечивают его выживание. Вся информация о сбоях и отказах на борту КА передается на НКУ с максимальным приоритетом передачи.

Основными признаками возникновения НШС является:

- ◆ выход значения какого-либо ТМП состояния КА за допустимые пределы;
- ◆ аварийное сообщение от БКУ КА сформированное на основе алгоритмов анализа функционирования как собственно БКУ так контролируемых систем КА;
- ◆ изменение конфигурации составных частей КА, выражающийся в переходе на другой комплект оборудования, непредусмотренный программой работы с КА;
- ◆ изменение режима работы составных частей КА, отличный от запланированной программы работы с КА;
- ◆ нарушение информационного обмена КА — НКУ.

Конкретный ТМП вышедший за пределы, признак или сообщение от БКУ определяет и частично локализует определенный набор рассмотренных НШС, которым оно может соответствовать.

В результате возникновения той или иной НШС, а также при недостаточности или неэффективности мер по ее парированию, могут возникнуть следующие последствия:

- ◆ полная утрата способности КА выполнять целевую задачу;
- ◆ утрата каких-либо функций, снижение или повышенная скорость деградации технических характеристик, производительности или пропускной способности КА;

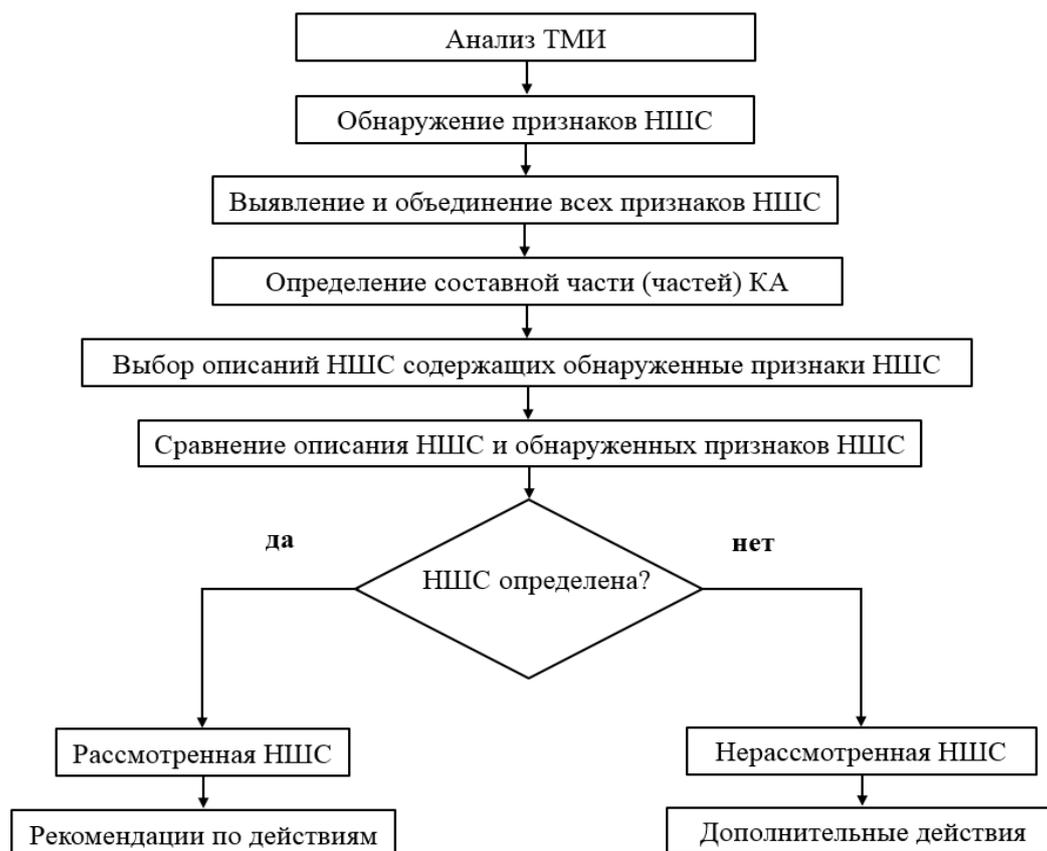


Рис. 2. Методика обнаружения и определения НШС

- ◆ невозможность выполнения отдельных полётных операций;
- ◆ прерывание выполняемой операции или исполняемого режима;
- ◆ невозможность поддержания требуемых параметров орбитального движения КА или его ориентации;
- ◆ нарушение условий эксплуатации другого бортового оборудования КА;
- ◆ перерасход или ускоренное расходование ресурсов КА;
- ◆ снижение уровня безопасности, работоспособности экипажа пилотируемого КА;
- ◆ ущерб для здоровья экипажа пилотируемого КА;
- ◆ катастрофа, влекущая за собой гибель экипажа, гибель КА.

#### Действия по обнаружению и определению нештатных ситуаций

Чтобы при обнаружении какой-либо признака возникновения НШС определить конкретную возникшую НШС, из числа рассмотренных НШС осуществляются следующие действия. Все фактические признаки возникновения НШС относятся к той составной части КА которые

они характеризуют. Для этой составной части или группы составных частей рассматривается все вероятные НШСвер в описание которых внесены обнаруженные признаки НШС. Совпадение описания какой-либо из НШС, входящих в множество НШСвер, позволяет предположить или однозначно установить, как рассмотренную НШС. Предложенная методика обнаружения НШС алгоритмическим образом представлена на рисунке 2.

Анализ НШС осуществляется для различных уровней структуры КА (отдельный агрегат, блок, прибор, составная часть КА). Для этого используются возможности различных алгоритмов управления функционированием и полетом КА: от конкретных циклограмм, формализующих порядок функционирования отдельных агрегатов и составных частей КА, до алгоритмов верхнего уровня управления — алгоритмов программы полета КА.

Перечень расчетных НШС формируется и вносится в эксплуатационную документацию на стадии разработки КА. Данный перечень пополняется и уточняется на всех этапах создания КА, в том числе и при проведении летных испытаний КА и эксплуатации его по назначению. При этом осуществляется определение влияния каждой из рассмотренных НШС на возможности реали-

зации программы полета. Исследуются и отрабатываются на наземных средствах программы действий по ликвидации рассмотренных НШС и их последствий, которые при положительном исходе вносятся в эксплуатационную документацию по управлению КА в полете.

В основу этих НШС положены отказы в оборудовании КА, аналитически определяемые в работе составных частей КА до полета, или отказы, возникшие при наземных испытаниях оборудования КА, а также НШС зафиксированные на предыдущих полетах КА или оборудовании КА. В число расчетных НШС включают все логически моделируемые и предполагаемые.

Описание каждой конкретной расчетной НШС содержит следующую информацию:

- ◆ форма проявления данной НШС;
- ◆ отображение данной НШС с помощью значение ТМП;
- ◆ возможные причины возникновения данной НШС;
- ◆ вероятная динамика развития данной НШС;
- ◆ расчетные значения временных параметров данной НШС;
- ◆ Методика оперативного определения располагаемого времени на останов развития НШС;
- ◆ программа действий по ликвидации данной НШС;
- ◆ программа действий в случае, если ликвидация НШС не может быть завершена до наступления её критической фазы;
- ◆ ресурсы, необходимые для выхода из НШС;
- ◆ рекомендации по уточнению плана дальнейшего полёта, связанных с возникновением данной НШС.

Как упоминалось выше, современный подход к проектированию КА предполагает, что рассмотренные НШС и единичные отказы в составных частях КА контролируются, выявляются, локализируются и парируются посредством БКУ КА с выдачей аварийных сообщений на НКУ и экипажу пилотируемого КА. Поскольку БКУ постоянно работает на борту КА, то и данная функция реализуется непрерывно в течение всего орбитального полета.

Экипаж пилотируемых КА вследствие своей занятости служебными и целевыми операциями обычно осуществляет контроль только ограниченного числа наиболее существенных ТМП с приемлемой периодичностью. Поэтому основная роль в этом случае отводится автоматизированным средствам БКУ и НКУ.

Наибольшую сложность с точки зрения их анализа, представляют нерассмотренные НШС. Сюда также относятся и скрытые НШС, т.е. те которые не имеют проявления через определенные заранее значения ТМП. Наи-

более опасный случай произошел с ТПК «СОЮЗ ТМ-5» 07.09.88 г. когда тормозной импульс не был отработан полностью, траектория спуска не была сформирована, а циклограмма разделения была запущена. Таким образом сложились предпосылки для катастрофической НШС, которые были предотвращены оперативными действиями специалистов.

В настоящее время каких-либо автоматизированных средств для выявления и анализа нерасчетных ситуаций не применяется. При возникновении нерасмотренной НШС во время полета КА в целях анализа специалисты управления используют методологический аппарат действий, основанной на многолетнем опыте предыдущих космических полетов. Действенным способом является «замораживание» ситуации или прерывание идущего режима или полетной операции, для того чтобы иметь достаточное время на выяснение достоверной причины возникновения данной НШС. Последовательность действий включает следующие шаги:

- ◆ используя имеющиеся данные ТМИ осуществляется оценка НШС на безопасность КА и работоспособность составных частей КА;
- ◆ определяется способность КА к выполнению элементом программы полета;
- ◆ осуществляется предварительная оценка располагаемого времени на анализ ситуации и разработку мер по устранению опасности по переходу НШС в критическую фазу;
- ◆ формируются вероятностные версии о причинах, вызвавших НШС;
- ◆ осуществляется анализ версий, начиная с наиболее вероятной или параллельно если вероятность неопределенна, как логическим образом, так и с привлечением средств моделирования;
- ◆ реализуются все возможные дополнительные методы анализа ТМИ для углубленного исследования ситуации;
- ◆ осуществляется сравнение логических выводов и результатов моделирование с поведением и КА и его составных частей и величиной ТМП и при взаимном соответствии, версия считается верной, а причина возникновения нерасчетной НШС — определенной.

В настоящее время действенных инструментов автоматического анализа нерасчетных НШС на практике не применяется, поэтому в таких случаях в основном все зависит от знаний, опыта и интуиции специалистов по управлению полетом. Большое значение также придается обеспечению возможности оперативного подключения к работам специалистов разработчиков КА и его составных частей и задействование необходимой инфраструктуры для проверки и отработки версий на наземных моделирующих средствах.

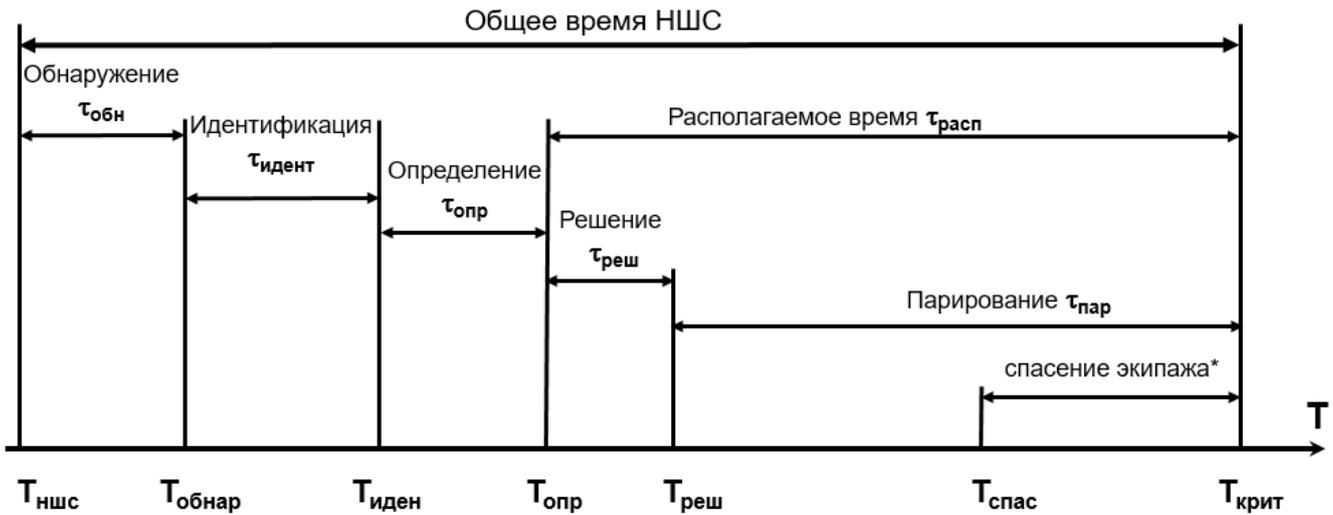


Рис. 3 Циклограмма действий при парировании НШС

Принципы парирования нештатных ситуаций

Под термином «ликвидация НШС», или «парирование НШС» понимают последовательность действий, направленных на достижение следующих целей:

- ◆ прекращение развития или распространения НШС, и недопущения наступления критической фазы по причине данной НШС;
- ◆ локализация, определение и устранение причины, породившей данную НШС;
- ◆ определение и исключение негативных последствий, вследствие произошедшей НШС и снижение вероятности её повторения на последующих этапах полета КА.

Критическая фаза развития НШС определяется моментом времени перехода КА в состояние, безусловно приводящее к негативным последствиям, указанным выше, включая прерывание выполнения полетной операции, потеря функциональных возможностей КА, снижение производительности или пропускной способности полезной нагрузки КА или возникновение необратимых нарушений состояния КА. Временной интервал между временем обнаружения НШС и временем достижения критической фазы развития НШС определим, как параметр «располагаемое время».

Парирование из НШС реализуется либо автоматически по логике БКУ КА, либо по действиям от НКУ. При парировании НШС силами НКУ дополнительно может накладываться временное ограничение, связанное с возможностями по обмену информации между КА и НКУ, а для межпланетных перелетов и длительность прохождения радиосигнала между КА и НКУ. Для пило-

тируемых КА, экипажем посредством ручных органов управления также участвует в парировании НШС.

Анализ НШС и их отбор для рассмотрения производятся по следующим критериям:

- ◆ влияние на выполнение программы полета КА и реализации целевой задачи КА;
- ◆ влияние на работоспособность КА и его составных частей;
- ◆ необходимость ремонтных работ, в том числе выполняемых экипажем.

В практике эксплуатации космической техники сложился устоявшийся порядок действий при анализе НШС всех типов, укрупненный алгоритм которого представлен на рисунке 3, а именно:

- ◆ обнаружение или выявление НШС в процессе контроля состояния КА и установление времени её возникновения  $T_{ншс}$ ;
- ◆ локализация и идентификация возникшей НШС;
- ◆ параллельно осуществляется поиск причины возникновения НШС;
- ◆ определение момента наступления критической фазы НШС  $T_{крит}$ ;
- ◆ оценка величины располагаемого времени  $\tau_{расп}$  на парирование НШС;
- ◆ выработка программы действий по парированию НШС в соответствии с эксплуатационной документацией или по результатам анализа;
- ◆ реализация программы действий по парированию НШС.

Для пилотируемых КА и ОК дополнительно обеспечивается решения задачи обеспечения безопасности при невозможности парирования НШС в требуемые сроки

и реализации программы по спасению экипажа. При этом принимается

Принципиальными методическими приемами парирования НШС, реализуемыми как бортовыми алгоритмами БКУ КА, так и действия специалистов службы управления полетом, при обнаружении НШС, нарушающей реализации программы полета КА следующие:

- ◆ переход с отказавшего оборудования на резервное;
- ◆ переход на резервный режим работы оборудования или составной части КА;
- ◆ прерывание полетной операции и повтор ее в дальнейшем либо исключение её из программы полёта;
- ◆ отключение или изоляция оборудования и недопущения распространения НШС на другое оборудование или составную часть КА;
- ◆ совокупность вышеперечисленных действий, в зависимости от конкретных обстоятельств и требований эксплуатационной документации.

Парирования НШС направленно на полное восстановление состояния КА и реализации целей полета или программы полета в полном объеме. Достигается в том числе частично, с потерей резервирования, утратой или ухудше-

ния некоторых функций или производительности КА. В зависимости от этого, дальнейшая программа полета либо соответствует ранее запланированной, либо корректируется под существующее техническое состояние КА.

## ВЫВОДЫ

При реализации процесса управления космическим полетом результатом контроля является определение состояния КА, которое бывает, как минимум в виде двух прямо противоположных заключений: «нормальное состояние КА» когда все значения ТМП находятся в допустимых, планируемых и ожидаемых значениях, «нештатное состояние КА» когда хотя-бы одно значение ТМП вышло за допустимые значения или не выполнена запланированная операция. Последствия НШС могут быть различными, от не влияющих на полет КА, до катастрофических. Обнаружение и идентификация НШС является самостоятельной задачей контроля, при этом первоочередным является определение располагаемого времени до перехода НШС в критическую фазу. Технология действий при парировании НШС состоит в выполнении всех необходимых действий до наступления катастрофических последствий и максимально возможном обеспечении продолжении программы полета для достижения выполнения всех целей полета.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кравец В. Г., Любинский В. Е. Основы управления космическими полётами. М.: Машиностроение, 1983. 256 с.
2. Наземный комплекс управления дальними космическими аппаратами. Перспективы развития/Под ред. Ю. М. Урличича. М.: Радиотехника, 2012. 216 с.
3. Современная телеметрия в теории и на практике /А.В. Назаров, Г. И. Козырев, И. В. Шитов и др.:— СПб.; Наука и техника, 2007.— 672с.
4. Любинский В. Е. Концепция создания системы управления полетом пилотируемого межпланетного корабля. Полет, 2004, No7, с. 28–34.
5. Микрин Е. А. Бортовые комплексы управления космических аппаратов. Учебное издание. Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2014 г. — 246 стр.

© Соловьев Сергей Владимирович ( sergey.soloviev@scsc.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВ НИЗКОУРОВНЕВЫХ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ НОВОГО РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ

## TAKING ADVANTAGE OF LOW-LEVEL PROGRAMMING LANGUAGES FOR A NEW PROGRAMMING LANGUAGE

**A. Tretyak  
I. Kapetsky  
E. Vereshchagina**

*Summary.* The article discusses the concept of low-level programming languages and their advantages relative to high-level languages. When developing programs in low-level languages the developer gains access to all the capabilities of the processor, so using low-level languages efficient and compact programs can be created, what are the main advantages of low-level languages. To use these advantages in the developed programming language, it is proposed to translate its code into C++ with further compilation of the C++ code by a C++ compiler. As an example, this article compares the performance of the high-level programming language Python with a new programming language, which is also high-level, but has the benefits of low-level languages.

*Keywords:* low-level programming language, high-level programming language, programming language development, compiler, machine code.

**Третьяк Александр Викторович**

Аспирант, Дальневосточный федеральный  
университет, г. Владивосток  
alextretyak2@gmail.com

**Капецкий Игорь Олегович**

Старший преподаватель, Дальневосточный  
федеральный университет, г. Владивосток  
ikareckij@mail.ru

**Верещагина Елена Александровна**

К.т.н., доцент, Дальневосточный федеральный  
университет, г. Владивосток  
everesh@mail.ru

*Аннотация.* В статье рассматривается понятие низкоуровневых языков программирования и их преимущества относительно высокоуровневых языков. Поскольку при разработке программ на языках низкого уровня разработчик получает доступ ко всем возможностям процессора, с помощью языков низкого уровня создаются эффективные и компактные программы, что является основными преимуществами низкоуровневых языков. Для использования данных преимуществ в разрабатываемом языке программирования предлагается производить его трансляцию в C++ с дальнейшей компиляцией кода C++ компилятором. В качестве примера приводится сравнение производительности высокоуровневого языка Python с новым разрабатываемым языком программирования, который также является высокоуровневым, но обладает преимуществами низкоуровневых языков.

*Ключевые слова:* низкоуровневый язык программирования, высокоуровневый язык программирования, разработка языка программирования, компилятор, машинный код.

## Введение

**Я**зык программирования — это формальный язык, предназначенный для записи компьютерных программ [1]. Язык программирования определяет набор лексических, синтаксических и семантических правил, определяющих внешний вид программы и действия, которые выполнит компьютер под её управлением. Язык программирования предназначен для написания компьютерных программ, которые представляют собой набор правил, позволяющих компьютеру выполнить тот или иной вычислительный процесс, организовать управление различными объектами и т.п. [2, с. 7].

В настоящее время существуют тысячи языков программирования. Их можно классифицировать различными способами. Один из способов классификации — по аппаратноориентированности и человекоориентированности — низкоуровневые и высокоуровневые языки программирования [3].

Низкоуровневый язык программирования (язык программирования низкого уровня) — язык для написания компьютерных программ, похожий на машинный код [4].

Высокоуровневый язык программирования (язык программирования высокого уровня) — язык для напи-

сания компьютерных программ, который больше похож на человеческий, чем на компьютерный язык, за счет чего его легче понять программисту [5].

Целью данной работы является исследование преимуществ низкоуровневых языков программирования и использование этих преимуществ в новом разрабатываемом языке программирования.

### Преимущества низкоуровневых языков программирования

С помощью языков низкого уровня создаются эффективные и компактные программы, поскольку разработчик получает доступ ко всем возможностям процессора. Под эффективной понимается программа, имеющая высокую скорость выполнения и малый объем занимаемой оперативной памяти, а под компактной — программа, имеющая небольшой размер скомпилированного исполняемого файла.

Среди недостатков низкоуровневых языков: необходимость высокой квалификации программиста ввиду сложности программ, труднопереносимость программ на устройство с другим типом процессора, значительное время разработки больших программ [6]. Всех этих недостатков лишены высокоуровневые языки программирования.

Таким образом, основными преимуществами низкоуровневых языков являются скорость выполнения и компактность программ.

### Низкоуровневые характеристики языка C

Конструкции языка C близко сопоставляются типичным машинным инструкциям, благодаря чему он нашёл применение в проектах, для которых был свойственен язык ассемблера — в операционных системах, системном и прикладном программном обеспечении, а его синтаксис стал основой для таких языков программирования, как C++, C#, Java и Objective-C [7].

C-подобные языки C и C++ наиболее близки к низкоуровневым языкам из всех прочих языков высокого уровня и имеют следующие характеристики.

Во-первых, язык C обладает портируемостью. Портируемость компилятора упрощает разработку компиляторов языка для новых платформ, а многообразие поддерживаемых компиляторами платформ избавляет разработчиков от необходимости переписывать прикладные программы для каждого компьютера.

Во-вторых, язык C позволяет работать с деталями реализации платформы: непосредственная работа с памятью и объектами в ней как с массивом байтов, возможность напрямую работать с адресами байтов и развитая арифметика указателей [8].

В-третьих, язык C достаточно близок к аппаратной части, поэтому он разделяет такие преимущества низкоуровневых языков, как скорость выполнения и компактность программ.

Вторая и третья представленные характеристики полностью соответствуют исключительно низкоуровневым языкам программирования.

### Пример ускорения программного кода

Для использования преимуществ низкоуровневых языков программирования, таких как скорость выполнения и компактность программы, в разрабатываемом новом языке производится его трансляция в C++ с дальнейшей компиляцией кода C++ компилятором.

Однако во многом синтаксис языка Python удобнее для восприятия программистом, чем языков C и C++ (разработка на Python идёт быстрее, чем на многих других языках), а также чаще используется при решении таких задач как написание скриптов для обработки файлов и веб-запросов, для автоматизации задач в системном администрировании, а также для анализа больших данных. Также Python подходит и для создания прикладных приложений или игр [9]. Поэтому в разрабатываемом новом языке программирования синтаксис основывается на языке Python, но при этом сохраняются преимущества низкоуровневых языков, такие как скорость выполнения и малый объем занимаемой памяти.

Ниже представлен пример исходного кода утилиты, проверяющей парность скобок и кавычек во всех текстовых файлах в заданном каталоге.

Код на Python:

```
import sys, os

if __name__ == '__main__':
    for root, dirs, files in os.walk(sys.argv[1]):
        for name in files:
            if (name.endswith('.txt') and name not in ('last-message.txt', 'cur-message.txt', 'histedit-last-edit.txt')) or name.endswith(('.py', '.hpp', '.h', '.cpp')):
                if b"\"r" in open(os.path.join(root, name), 'rb').read():
                    sys.exit(R"\"r found in file " + os.path.join(root, name) + """)
```

```

filestr: str
try:
filestr = open(os.path.join(root, name), 'r', encoding =
'utf-8-sig').read()
except:
sys.exit("Exception while reading file "" + os.path.
join(root, name) + """)
for pair in ("", '()', '{}', '[]'):
i = 0
while i < len(filestr):
if filestr[i] == pair[0]:
start_i = i
nesting_level = 1
i += 1
while True:
if i == len(filestr):
sys.exit("Balance check error in file "" + os.path.join(root,
name) + """)
ch = filestr[i]
i += 1
if ch == pair[0]:
nesting_level += 1
elif ch == pair[1]:
if pair[0] == '(':
assert(pair[1] == ')')
if filestr[i-1: i] == ':' and filestr[i+1: i+3] == '(:':
assert(filestr[i] == ')')
i += 2 # пропускаем, чтобы смайлы):( не [ломали/]
портили баланс
continue
nesting_level -= 1
if nesting_level == 0:
break
elif filestr[i] == pair[1]:
if pair[0] == '(':
assert(pair[1] == ')')
if filestr[i-1: i] == ':' and filestr[i+1: i+3] == '(:':
assert(filestr[i] == ')')
i += 2 # пропускаем, чтобы смайлы):( не [ломали/]
портили баланс
continue
sys.exit("Balance check error in file "" + os.path.join(root,
name) + """)
else:
i += 1

```

Код на новом языке программирования:

```

: start:
loop(_fname) fs: walk_dir(: argv[1], files_only' 0B)
var root = fs: path: dir_name(_fname)
[String] dirs, files
if fs: is_dir(_fname) {dirs [+]= fs: path: base_name(_
fname)} else files [+]= fs: path: base_name(_fname)
loop(name) files

```

```

if (name.ends_with('.txt') & name!in ('last-message.
txt', 'cur-message.txt', 'histedit-last-edit.txt')) | name.ends_
with(('.py', '.hpp', '.h', '.cpp'))
if "\r".code in File(fs: path: join(root, name)).read_bytes()
exit("\r found in file ""fs: path: join(root, name)""")
String filestr
exception.try
filestr = File(fs: path: join(root, name), 'r', encoding'utf-8-
sig').read()
exception.catch
exit("Exception while reading file ""fs: path: join(root,
name)""")

```

```

loop(pair) ("", '()', '{}', '[]')
var i = 0
loop i < filestr.len
if filestr[i] == pair[0]
var start_i = i
var nesting_level = 1
i++
loop
if i == filestr.len
exit("Balance check error in file ""fs: path: join(root,
name)""")
var ch = filestr[i]
i++
if ch == pair[0]
nesting_level++
else if ch == pair[1]
if pair[0] == '('
assert(pair[1] == ')')
if filestr[i - 1 .< i] == ':' & filestr[i + 1 .< i + 3] == '(:'
assert(filestr[i] == ')')
i += 2
loop.continue
nesting_level--
if nesting_level == 0
loop.break
else if filestr[i] == pair[1]
if pair[0] == '('
assert(pair[1] == ')')
if filestr[i - 1 .< i] == ':' & filestr[i + 1 .< i + 3] == '(:'
assert(filestr[i] == ')')
i += 2
loop.continue
exit("Balance check error in file ""fs: path: join(root,
name)""")
else
i++

```

Данная утилита запускалась в каталоге с исходным программным кодом транспайлера нового языка программирования [10]. Время работы данной утилиты на Python составило 4,5 секунды, а скомпилированного кода на новом языке — 0,26 секунд. Таким образом, ско-

рость работы данной утилиты в 17 раз выше на новом языке программирования по сравнению с языком Python.

### Заключение

Основными преимуществами низкоуровневых языков программирования являются скорость выполнения и компактность программы; эти языки ориентированы на высокую производительность, эффективное использование аппаратных ресурсов компьютера, такие как процессор, память.

Для использования данных преимуществ в разрабатываемом языке программирования предлагается производить его трансляцию в C++ с дальнейшей компиляцией кода C++ компилятором.

Таким образом, можно сделать вывод, что используя трансляцию нового разрабатываемого языка программирования в C++, увеличивается производительность выполнения программного кода, а также используется малый объём занимаемой оперативной памяти.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Systems and software engineering — Vocabulary. URL: <https://www.iso.org/standard/50518.html>
2. Молдованова, О. В. Языки программирования и методы трансляции: учебное пособие / О. В. Молдованова. — Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2012. — 134 с. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/54809.html>
3. Белова И. Язык программирования Python URL: <https://youtu.be/6l7ybevPUKM?t=42>
4. Low-level language URL: <https://dictionary.cambridge.org/us/dictionary/english/low-level-language>
5. High-level language URL: <https://dictionary.cambridge.org/us/dictionary/english/high-level-language>
6. Языки программирования низкого уровня URL: <https://studfile.net/preview/3972576/page:3/>
7. Си (язык программирования) URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Си\\_\(язык\\_программирования\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Си_(язык_программирования))
8. И всё же С — низкоуровневый язык URL: <https://habr.com/ru/company/badoo/blog/465429/>
9. Где используется Python и в чём особенности этого языка URL: <https://geekbrains.ru/posts/dlya-chego-nuzhen-yazyk-python>
10. GitHub: 11l\_to\_cpp URL: [https://github.com/11l-lang/\\_11l\\_to\\_cpp](https://github.com/11l-lang/_11l_to_cpp)

© Третьяк Александр Викторович ( [alextrtyak2@gmail.com](mailto:alextrtyak2@gmail.com) ),  
 Капецкий Игорь Олегович ( [ikapeckij@mail.ru](mailto:ikapeckij@mail.ru) ), Верещагина Елена Александровна ( [everesh@mail.ru](mailto:everesh@mail.ru) ).  
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Дальневосточный федеральный университет

# ПЕРСОНАЛИЗАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ СИСТЕМЫ ПОМОЩИ ВОДИТЕЛЮ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

**Фам Туан Ань**

Санкт-Петербургский национальный  
исследовательский университет ИТМО  
anhpt@itmo.ru

## PERSONALIZATION OF USER DATA TO INCREASE THE ACCURACY OF THE DRIVER ASSISTANCE SYSTEM BASED ON MACHINE LEARNING

**Pham Tuan Anh**

*Summary.* This paper discusses a machine learning approach to personalizing user data to improve the accuracy of a driver assistance system that aims to adapt to driver preferences, driving styles, skills, and driving patterns. Driving sleep warning has become a mandatory feature in modern automotive systems. EAR methods for determining the state of eye openness are complex and inaccurate for people with small and narrow eyes, as, for example, in most Asians. Therefore, the author proposes a system for personalizing user data based on machine learning to improve the accuracy of determining the state of closed/open eyes of Asian faces. The system uses the front camera of the smartphone to collect user data and operate in real time.

*Keywords:* driver assistance system, personalization of user data, drowsiness, system accuracy, machine learning.

*Аннотация.* В данной работе рассматривается подход к персонализации пользовательских данных для повышения точности системы помощи водителю на основе машинного обучения, который нацелен на адаптацию к предпочтениям водителей, стилям вождения, навыкам и моделям вождения. Предупреждение о сне при вождении стало обязательной функцией в современных автомобильных системах. Методы же EAR для определения состояния открытости глаз сложны и не точны для людей с маленькими и узкими глазами, как, например, у большинства азиатов. Поэтому автор предлагает систему персонализации пользовательских данных на основе машинного обучения для повышения точности определения состояния закрытости/открытости глаз азиатских лиц. Система использует фронтальную камеру смартфона для сбора пользовательских данных и работы в режиме реального времени.

*Ключевые слова:* система помощи водителю, персонализация пользовательских данных, сонливость, точность системы, машинное обучение.

## Введение

Современные системы помощи водителю развиваются в направлении все более сложных функций помощи, применяемых с более широким охватом и значительно увеличивающимся числом возможных пользователей в связи с более широким проникновением на рынок. Чтобы справиться с таким большим разнообразием условий использования и моделей использования, были разработаны методы персонализации, обеспечивающие оптимальный пользовательский опыт и поставляемую системную функцию.

Усталость всегда опасна для водителей и безопасности дорожного движения. Недостаток сна, приводит к сонливости во время вождения, легко может стать причиной несчастного случая со смертельным исходом. Но вождение не является основной причиной устало-

сти, потому что водители часто устали от долгой работы, недосыпания вообще и недосыпания из-за апноэ во сне в частности или сменной работы и т.д.

Вождение в состоянии усталости может привести к более медленной реакции организма, отсутствию концентрации, ошибкам в вычислении скорости и расстояния, снижению бдительности и неадекватности суждений, а также сонливости — за секунды, и это может привести к катастрофическим последствиям.

Были приняты правила, касающиеся обязательного оснащения европейской системы предупреждения о безопасном вождении стандартами безопасности дорожного движения. Эти системы требуют специального оборудования, обладают высокой точностью и применимы к новым автомобилям. В случае активных транспортных средств водитель может легко получить доступ

к системе предупреждения о сонливости с помощью смартфона, который может обеспечить раннее предупреждение об усталости.

В рамках данного исследования рассматриваются следующие вопросы:

- ◆ Какие существуют подходы машинного обучения для классификации состояния лица водителя?
- ◆ Как персонализировать характеристики лица пользователя?
- ◆ Роль персонифицированного распознавания лиц в современных системах?
- ◆ Какие методы используются для определения сонливости человека?
- ◆ Какова эталонная модель системы поддержки принятия решений водителем на основе персональных данных и методов машинного обучения.

### Анализ некоторых существующих работ

С начала 2000-х годов автомобильная промышленность посвятила много времени и ресурсов на сотрудничество с исследователями из области компьютерного зрения и машинного обучения для создания соответствующих систем обнаружения сна.

Авторы статьи [1] разработали систему мониторинга сонливости водителя в режиме реального времени. Система использует камеру смартфона для записи лица водителя на видео. Система фиксирует лицевые ориентиры на обнаруженном лице, а затем вычисляет пропорции глаз, коэффициент раскрытия рта и соотношение длины носа. В зависимости от рассчитанных значений система определяет состояние сонливости на основе выбранных значений адаптивного порога. Для анализа данных авторами использовались алгоритмы SVM и Histogram of Oriented Gradients (HOG).

Авторы статьи [2] предложили систему driver fatigue detection system (DFS), которая контролирует водителя и подает предупреждающие сигналы, если водитель засыпает за рулем. Система встроена на смартфоне. Камера используется для определения следующих состояний: определение зевоты, кивание головой, движение век. Для анализа данных авторы использовали каскады классификации Haar-like, алгоритмы сопоставления с образцом.

Авторы статьи [3] предложили систему, определяющую сонливость водителя в режиме реального времени. Эта система разработана как приложение для смартфона с ОС Android, использующее камеру для определения лица водителя. Точность определения сонливости этой системой оценивается в 93,37%. Система адекватно

работает при естественном освещении и независимо от того, используются ли для водителя аксессуары, такие как очки, наушники или кепка.

В статье [4] исследуется способность водителя обнаруживать сонливость с помощью распознавания выражений лица для анализа на основе одного кадра и динамического моделирования на основе Hidden Markov Model (HMM). Они попросили двух водителей управлять безразличными сценариями как в сонных, так и в несонливом состоянии и собрали обучающие и тестовые изображения для анализа и оценки их подхода. Затем, чтобы обнаружить сонливость водителя, сначала применив алгоритмы Viola-Jones и Camshift, чтобы определить лицо водителя. После обнаружения лица они извлекли черты лица с помощью Gabor Wavelets. Затем они использовали Adaboost для выбора извлеченных функций. Эти разделы абсолютно одинаковы для обеих систем классификации. Затем они выполнили однокадровый анализ и динамическое моделирование на основе HMM. В заключение, динамический подход дает большую производительность, чем анализ на основе одного кадра. Поэтому в этой статье говорится, что выражение лица лучше распознается при анализе последовательности кадров.

В статье [5] исследователи сосредоточены на нескольких физических характеристиках, чтобы повысить точность определения уровней сонливости. Кроме того, многие другие исследования были извлечены только по одному объекту. В этой статье в основном используется Local Binary Pattern (LBP) при извлечении областей глаз и рта. REDE — это название предложенного алгоритма этой статьи. REDE превзошел предыдущие четыре исследования по выявлению усталости. Поскольку не было общедоступной базы данных для определения уровня утомляемости, они создали свою собственную базу данных, полученную от добровольцев. При предварительной обработке данных извлечения областей двух глаз и рта используется Dlib. Затем значения LBP извлекаются как для глаз, так и для рта и после этого собственный вектор функций LBP.

В статье [6] рассматривается возможность обнаружения и прогнозирования состояния водителя, такого как сонливость, путем разработки искусственной нейронной сети для этих задач. Кроме того информация, вводимая в алгоритм, собирается из различных источников данных, начиная от физиологических, поведенческих и заканчивая психологическими данными о водителе, а также информацией о характеристиках транспортного средства. Различные наборы данных из разных источников были оценены для определения наилучшей степени успех в обнаружении и прогнозировании нарушений. Данные собираются от участников симулятора вождения. Обобщение и межличностная изменчивость

рассматриваются как сложная задача для оценки водителей, данные которых не были обучены заранее.

В статье [7] предлагается единая структура сбора и анализа данных, называемая DarNet. Он использует ансамбли нейронных сетей для классификации и данные на основе датчиков смартфона для обнаружения и классификации аномального поведения за рулем. Кроме того, они признают проблемы конфиденциальности, понижая дискретизацию собранных видеоданных, что по-прежнему обеспечивает разумную точность классификации 80%.

В статье [8] представлена система, которая обнаруживает сонливости водителей и показано, что существуют потенциальные социальные проблемы, связанные с применением методов Convolutional Neural Networks (CNN) в системах интеллектуального анализа данных, которые отслеживают характер вождения и рекомендуют перерывы для отдыха, когда это необходимо, путем выделения проблем в обнаружении темнокожих лиц водителей. Это особенно важная проблема в африканских условиях, где водителей больше темнокожих. К сожалению, общедоступные наборы данных часто отражаются в различных культурных контекстах и, следовательно, не охватывают все этнические группы, что может привести к ложным определениям или моделям с расовой предвзятостью. В этой работе оценивается производительность, полученная путем обучения сложной модели нейронной сети на часто используемых наборах данных обнаружения сонливости водителя и тестировании на наборах данных, специально выбранных для более широкого представления. Следовательно, необходимо иметь решения для улучшения результатов и уменьшения влияния таких факторов, как раса, пол и возраст, на точность алгоритма в системе.

### Методы распознавания лиц и объектов на лице

В системах компьютерного зрения обнаружение объектов основано на методах выделения признаков из данных пикселей с использованием различных методов. Сначала необходимо обнаружить лицо водителя, а затем определить объектов на лице, чтобы создать черты, интерпретируя их в алгебраических и алгоритмических процессах. Некоторые из широко используемых методов извлечения признаков:

- ♦ *Интенсивность света:* на изображениях лица в оттенках серого область глаз обычно темнее, чем нос и щеки, из-за разницы в высоте. Эти области можно изобразить белыми и черными прямоугольниками, которые называются Haar-like features. Самый известный алгоритм, использующий Haar-like features, — это алгоритм Viola-Jones [9].

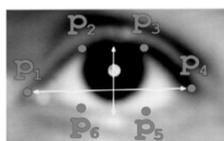
Он в основном определяет наиболее важные функции Haar с помощью Cascading AdaBoost (Adaptive Boosting) и работает с этими функциями при обнаружении лиц.

- ♦ *Собственные лица (Eigenfaces):* если изображение лица искажено, оно не будет полностью случайным, в изменениях будут некоторые закономерности. Эти изменения могут отражать лицевые члены или расстояние между ними. Таким образом, в компьютерном зрении они называются собственными лицами, и самым известным примером этого является функция 2D Габора, которая используется для улучшения топологической структуры человеческого лица, то есть носа в виде вершин, глаза в виде впадины. Когда изображение лица свернуто с помощью подходящего фильтра Габора, который в основном представляет собой синусоидальную плоскую волну, характеристики лица могут стать более подчеркнутыми, и это может быть использовано при обнаружении лиц [10].
- ♦ *Дескрипторы функций:* в компьютерном зрении существуют некоторые алгоритмы, такие как SIFT (Scalar Invariant Feature Transform) [11], SURF (Speeded-Up Robust Features) [12], для описания локальных особенностей изображений, инвариантных к масштабированию, ориентации, искажению и освещению. Поскольку это сложные и дорогостоящие алгоритмы и процедуры в вычислительном отношении, их сложно использовать в сценариях реального времени. Существует также еще один характерный дескриптор HOG (Histogram of Oriented Gradient) [13], использующий распределение направлений градиентов в качестве функций. Это один из самых быстрых и надежных подходов в области компьютерного зрения, поэтому известная библиотека Dlib использует его реализацию для обнаружения лиц с помощью линейного классификатора.

### Методы классификации сонливости

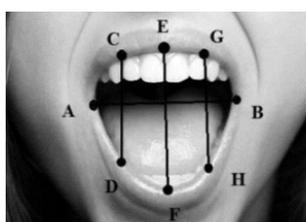
После выделения функций из необработанных данных и построения наборов обучающих данных, есть варианты классификаторов для прогнозирования уровня сонливости. Некоторые из них перечислены ниже:

- ♦ *Базовая установка пороговых значений:* Используются пороги для обнаружения сна, такие как анализ закрытия глаз или анализ зевоты с открыванием рта.
- ♦ *Анализ закрытия глаз.* Для определения состояния глаз можно использовать показатели EAR (Eye Aspect Ratio) — представляет собой отношение длины глаз к ширине глаз. Длина глаз рассчитывается путем усреднения двух четких



$$EAR = \frac{\|p_2 - p_6\| + \|p_3 - p_5\|}{2\|p_1 - p_4\|}$$

Рис. 1. Координаты глаз и формула Eye Aspect Ratio (EAR)



$$MAR = \frac{|EF|}{|AB|}$$

Рис. 2. Координаты глаз и формула Mouth Aspect Ratio (MAR)



Рис. 3. Индекс EAR ошибочно легко определяет состояние глаз азиатов.

вертикальных линий поперек глаз, как показано на рисунке 1.

- ◆ Анализ зевоны: зевоны — один из первых показателей, который приходит на ум при обнаружении сонливости. В вычислительном отношении похожий на EAR, MAR измеряет отношение длины рта к ширине рта (рис. 2). Когда зевает, в результате чего его MAR в этом состоянии становится выше, чем обычно.  $|AB|$  представляет евклидово расстояние между двумя позициями ориентиров.
- ◆ Обычные инструменты машинного обучения: хотя можно использовать более простые подходы, такие как Logistic Regression, Decision Tree, k-NN (K-Nearest Neighbors), NB (Naïve-Bayes) и получить удовлетворительные результаты [14], большинство ученых, вероятно, предпочитают более сложные инструменты, например SVM (Support Vector Machine), Random Forest, HMM (Hidden Markov Model), AdaBoost (Adaptive Boosting). Среди них самые популярные - SVM и HMM.
- ◆ Инструменты глубокого обучения: это математические модели, которые состоят из связанных искусственных нейронов, вдохновленных био-

логической нейронной сетью с коннекционистским подходом. Они используются для моделирования сложных отношений и шаблонов между входными и выходными данными с использованием обучаемых весов связей. Искусственная нейронная сеть (Artificial neural network - ANN) с возрастающей сложностью и несколькими промежуточными уровнями называются DNNs (Deep Neural Networks). В области обнаружения сонливости во многих сценариях ученые предпочитают подтип DNN, которые называются CNN (Convolutional Neural Network) в качестве классификатора, почти так же часто, как SVM и HMM. В дополнение к обычным слоям DNN, CNN также состоят из некоторых сверточных слоев, которые представляют собой свернутые входные изображения с фильтрами, чтобы присвоить важность некоторым аспектам/объектам изображения, чтобы снизить вычислительные затраты [15].

#### Предлагаемая методология

В этом разделе будут рассматриваться методы машинного обучения для улучшения результата обнаружения состояния глаз: закрываются /открываются.

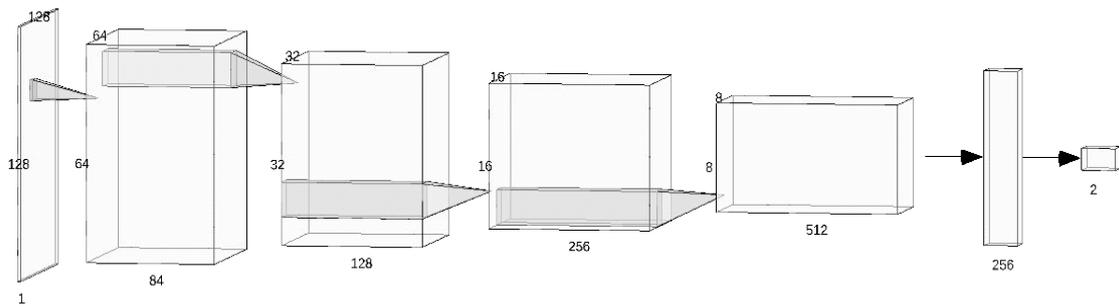


Рис. 4. Предлагаемая глубокая модель CNN

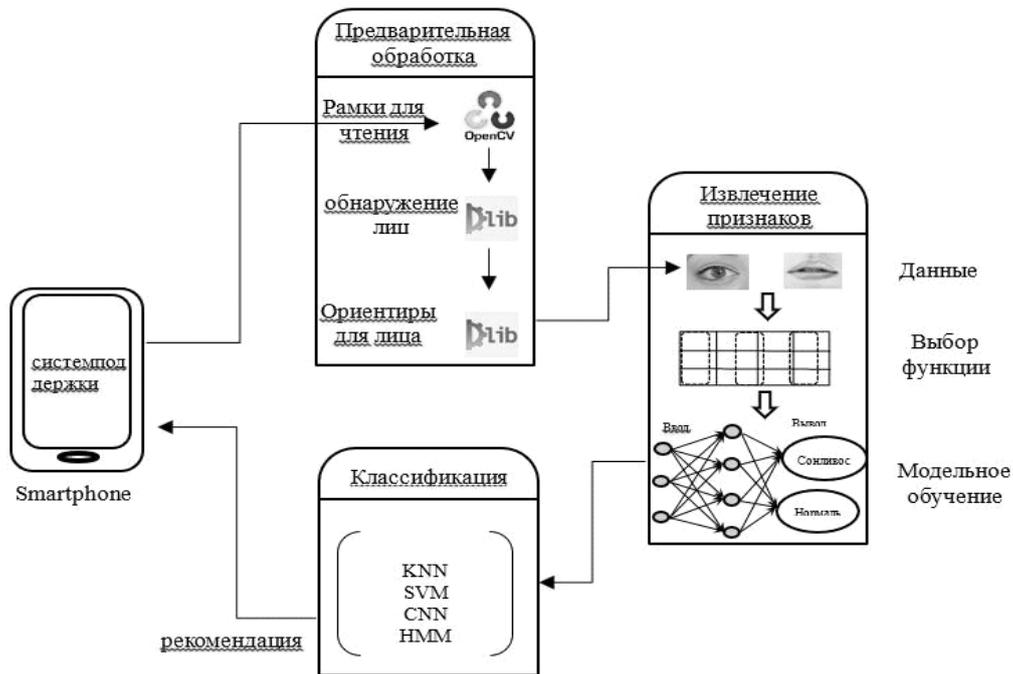


Рис. 5. Персонализация системы поддержки принятия решений

Состояние сонливости является состоянием глаз, рот закрыть или рот открыт большее. В соответствии с индексом EAR — Если значение EAR меньше определенного порога, обычно 0,3, состояние глаза определяется как закрытое.

Однако с лицами с маленькими и узкими глазами, такими как у Азиатов, при применении формулы EAR часто бывает сложно рассчитать состояние глаза в этом случае и обычно определяется неправильно — глаза всегда закрыты (рис. 3).

Для более точного определения состояния глаз у азиатов автор рекомендует использовать сеть CNN для изучения состояния закрытости и открытости глаз следующим подходом:

1. Алгоритм обнаружения лица Виолы-Джонса используется для обнаружения лица на изображении

и передает его в качестве входных данных в алгоритм обнаружения глаз Виолы-Джонса.

2. После обнаружения лица алгоритм обнаружения глаз Виолы-Джонса используется для извлечения области глаза из изображений лиц и передает ее в качестве входных данных в CNN.
3. CNN с четырьмя сверточными слоями используется для извлечения глубоких особенностей, и эти особенности передаются на полностью связанный слой.
4. Слой Softmax в CNN классифицирует изображения на сонные и несонные.

**Дизайн слоев предложенной глубокой модели CNN:** В предлагаемой нами работе модель Deep CNN разработана с 4 сверточными слоями и одним полностью связанным слоем. Извлеченные ключевые изображения размером 128 X 128 передаются на вход. Выход класси-

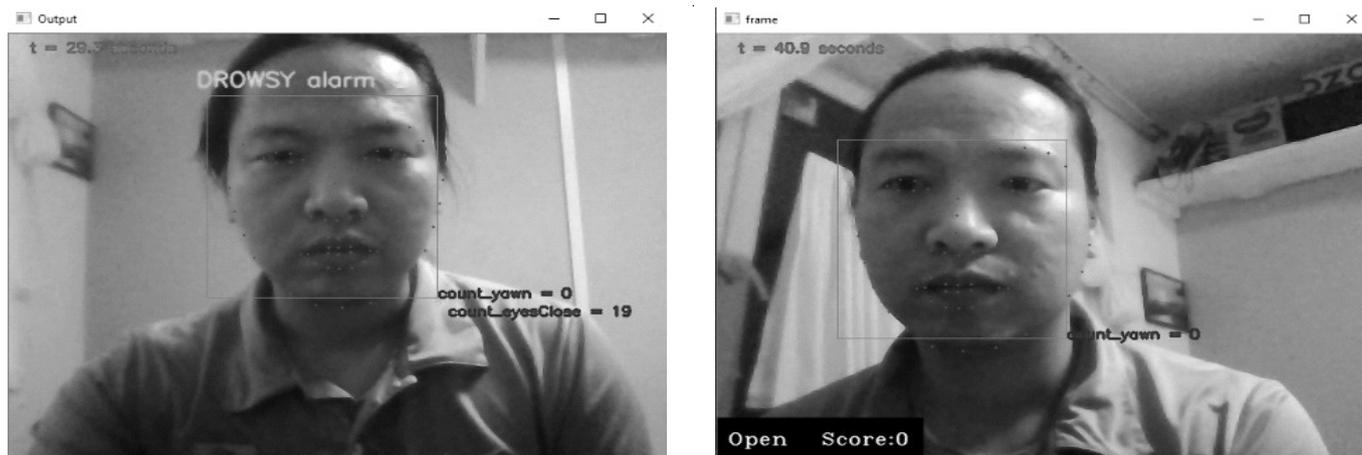


Рис. 6. Результаты до и после персонализации пользовательских данных

фикатора — это два состояния, поэтому выходной слой имеет только два выхода. В предлагаемой нами структуре CNN256 выходов полностью связанного слоя — это глубокие особенности, извлеченные из входных изображений глаза. Последние 2 выхода могут быть линейными комбинациями глубоких элементов.

На основе информации из обзора литературы, касающейся распространенных методов машинного обучения и соответствующих данных, собранных со смартфонов, была предложена эталонная модель, которая показывает, как современные подходы машинного обучения могут использоваться для улучшения качества определения сонливости у азиатов в системы поддержки принятия решений водителем (рис. 4).

Чтобы иметь возможность персонализировать пользовательские данные, при запуске системы пользователям предлагалось смотреть прямо в камеру и выполнять следующие требования: прямое зрение, закрытые глаза, зевота. Система будет изучать характеристики глаз каждого пользователя и со временем повысит точность каждого пользователя (рис. 5). Кроме того, отслеживая историю активности, включая алгоритмы нечеткой логики, система будет определять характеристики и более точно прогнозировать преждевременную утомляемость на основе таких показателей, как скорость закрытия глаз, активные привычки, активное время и т.д. чтобы выявить потенциальные особенности и предсказать будущее.

## Заключение

В этой статье наше внимание сосредоточено на подходе к персонализации пользовательских данных в переносных системах помощи водителю. Основной целью персонализации является повышение точности и удобства использования и, следовательно, приемлемости системы для водителей. Это особенно важно в приложениях, связанных с безопасностью, где оповещения и их время должны быть адаптированы к навыкам и потребностям водителя, чтобы предотвратить неиспользование системы. Кроме того, персонализация может способствовать повышению безопасности систем помощи, например, предлагая возможность увеличить время предупреждения на основе наблюдения за отдельным водителем. Наконец, это средство для улучшения систем комфорта, которые могут быть адаптированы к предпочтительным стилям вождения.

Персонализация пользовательских данных становится все более важным требованием в большинстве современных систем. Изучая особенности самого пользователя, персонализация повышает точность определения состояний закрытости и открытости глаз азиатских лиц. В будущем будут использоваться методы машинного обучения и персонализации данных для разработки алгоритмов определения эмоциональных состояний или употребления психоактивных веществ во время вождения — Это тоже проблемы для водителей и очень актуальные задачи для исследования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kumar A., Patra R. Driver drowsiness monitoring system using visual behaviour and machine learning //2018 IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE). — IEEE, 2018. — С. 339–344.
2. Abulkhair M. et al. Mobile platform detect and alerts system for driver fatigue //Procedia Computer Science. — 2015. — Т. 62. — С. 555–564.

3. Galarza E. E. et al. Real time driver drowsiness detection based on driver's face image behavior using a system of human computer interaction implemented in a smartphone //International Conference on Information Theoretic Security. — Springer, Cham, 2018. — С. 563–572.
4. Tadesse E., Sheng W., Liu M. Driver drowsiness detection through HMM based dynamic modeling //2014 IEEE International conference on robotics and automation (ICRA). — IEEE, 2014. — С. 4003–4008.
5. Li K. et al. Accurate fatigue detection based on multiple facial morphological features //Journal of Sensors. — 2019. — Т. 2019.
6. de Naurois C. J. et al. Detection and prediction of driver drowsiness using artificial neural network models //Accident Analysis & Prevention. — 2019. — Т. 126. — С. 95–104.
7. Streiffer C. et al. Darnet: a deep learning solution for distracted driving detection //Proceedings of the 18th acm/ifip/usenix middleware conference: Industrial track. — 2017. — С. 22–28.
8. Ngxande M., Tapamo J. R., Burke M. Detecting inter-sectional accuracy differences in driver drowsiness detection algorithms //2020 International SAUPEC/RobMech/ PRASA Conference. — IEEE, 2020. — С. 1–6.
9. Viola P. et al. Robust real-time object detection //International journal of computer vision. — 2001. — Т. 4. — №. 34–47. — С. 4.
10. Tadesse E., Sheng W., Liu M. Driver drowsiness detection through HMM based dynamic modeling //2014 IEEE International conference on robotics and automation (ICRA). — IEEE, 2014. — С. 4003–4008.
11. Naz S., Ziauddin S., Shahid A. R. Driver fatigue detection using mean intensity, SVM, and SIFT //IJMAI. — 2019. — Т. 5. — №. 4. — С. 86–93.
12. Bay H., Tuytelaars T., Van Gool L. Surf: Speeded up robust features //European conference on computer vision. — Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. — С. 404–417.
13. Dalal N., Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection //2005 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition (CVPR'05). — IEEE, 2005. — Т. 1. — С. 886–893.
14. Nakamura T., Maejima A., Morishima S. Detection of driver's drowsy facial expression //2013 2nd IAPR Asian Conference on Pattern Recognition. — IEEE, 2013. — С. 749–753.
15. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks //Communications of the ACM. — 2017. — Т. 60. — №. 6. — С. 84–90.

© Фам Туан Ань ( anhpt@itmo.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



ИТМО

# ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ МЕЖКОСТИСТОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ У ПАЦИЕНТОВ СО СТЕНОЗОМ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА НА ФОНЕ СНИЖЕНИЯ КОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ

## EFFICIENCY AND SAFETY OF THE TITANIUM-BASED DYNAMIC STABILIZATION SYSTEM IN PATIENTS WITH DEGENERATIVE STENOSIS OF THE LUMBAR SPINE AND REDUCED BONE DENSITY

**T. Aldatov  
V. Cherebello  
V. Dragoon  
D. Biragov**

*Summary.* The results of surgical treatment of 103 patients with degenerative spinal stenosis with the use of dynamic stabilization systems against the background of a decrease in bone tissue density were analyzed. Bone density was studied in a group of patients with identified bone erosion near the implant. The effectiveness of the use of dynamic stabilization systems in persons with osteoporosis has been confirmed. Criteria for the selection of patients with reduced bone density for the use of dynamic stabilization systems have been determined.

*Keywords:* spinal stenosis, interspinous dynamic stabilization, decreased bone density.

**Алдатов Тимур Сергеевич**

Аспирант, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. Акад. И. П. Павлова, г. Санкт-Петербург  
aldatov.t@mail.ru

**Черebilло Владислав Юрьевич**

Д.м.н., профессор, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. Акад. И. П. Павлова, г. Санкт-Петербург  
cherebillo@mail.ru

**Драгун Вадим Михайлович**

К.м.н., доцент, Северо-Западный Государственный Медицинский Университет им И. И. Мечникова; главный нейрохирург ленинградской области, заместитель главного врача по хирургии Ленинградской областной клинической больницы  
dragun\_vt@mail.ru

**Бирагов Давид Вячеславович**

Врач-нейрохирург, Медицинский центр СОГАЗ, г. Геленджик  
davidsbir@yandex.ru

*Аннотация.* Проанализированы результаты хирургического лечения 103 пациентов с дегенеративным стенозом позвоночного канала с применением систем динамической стабилизации на фоне снижения плотности костной ткани. Исследована костная плотность у группы пациентов с выявленной костной эрозией вблизи импланта. Подтверждена эффективность применения систем динамической стабилизации у лиц с остеопорозом. Определены критерии отбора пациентов со сниженной костной плотностью для использования систем динамической стабилизации.

*Ключевые слова:* стеноз позвоночного канала, межкостистая динамическая стабилизация, снижение плотности кости.

## Введение

**Д**егенеративный стеноз поясничного отдела позвоночника является одним из самых распространенных заболеваний у лиц пожилого возраста и наиболее частой причиной перемежающейся хромоты [1,2]. Основными симптомами поясничного стеноза являются хронические боли в пояснице и нижних конечностях [3]. Данное заболевание серьезно ограничивает подвижность позвоночника, что в со-

вокупности с болями в спине и нижних конечностях снижают активность и изменяют нормальную работу и повседневную жизнедеятельность пациента [4]. Консервативные методы лечения, такие как физиотерапия и назначение нестероидных противовоспалительных препаратов не эффективны для устранения симптомов поясничного стеноза [5]. Преимущество хирургической декомпрессии по сравнению с консервативными методами лечения в настоящее время является доказанным и подтверждено множеством клинических исследова-

Таблица 1. Распределение пациентов по уровням поражения.

Уровень пораженного сегмента	Количество пациентов в группе А	Количество пациентов в группе В
L2/L3	3	2
L3/L4	13	10
L4/L5	22	25
L5/S1	15	14

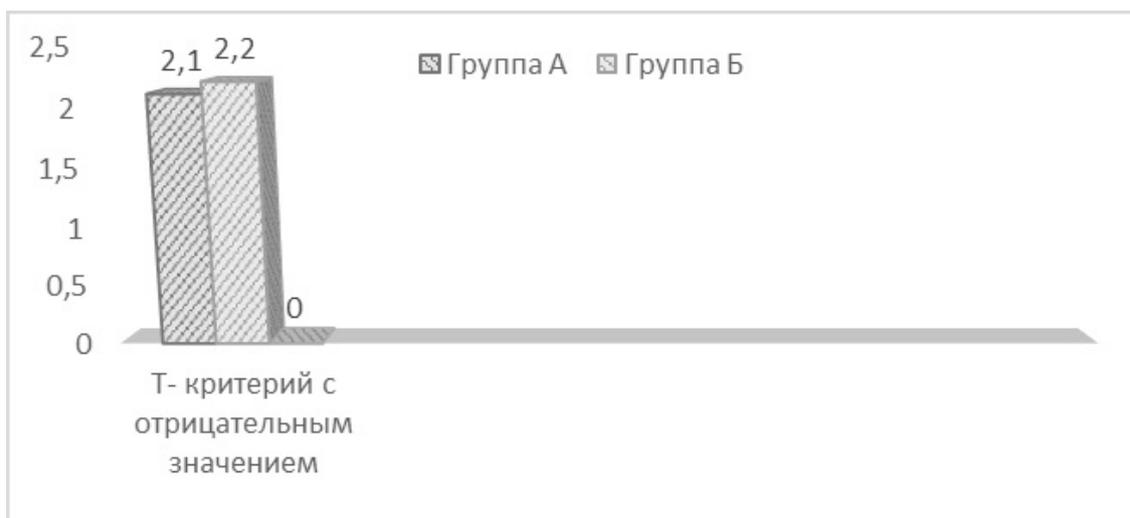


Диаграмма 1. Среднее значение минеральной плотности кости по Т- критерию с отрицательным значением.

ний [6]. Тем не менее, одна только декомпрессия не способна полностью устранить патологическое состояние позвоночника и может стать причиной будущей нестабильности в оперированном сегменте. [7]. Для уменьшения потенциального риска будущей нестабильности и деформации поясничного отдела позвоночника в последнее время все чаще прибегают к заднебоковому спондилодезу [8]. Спондилодез поддерживает объем центрального канала и фораминальную высоту, которые достигаются декомпрессией стенозированного сегмента позвоночника. Инструментальный спондилодез используется в качестве показанного и рекомендованного метода лечения при нестабильности позвоночника, либо в случаях, когда декомпрессия может привести к нестабильности позвоночника. Однако в виду того, что спондилодез приводит к нарушению движения в сросшихся сегментах, в некоторых исследованиях сообщалось об осложнениях, вызванных операцией таких как спондилоартроз и дегенерацию соседних уровней [9]. Стабилизация позвоночника после декомпрессии с помощью менее инвазивных, сохраняющих движения имплантов таких как Soflex и Diam обеспечивают третий вариант лечения, являющийся промежуточным между декомпрессией и спондилодезом [10].

## Материалы и методы

В проспективное двойное открыто контролируемое рандомизированное исследование была включена информация о 104 пациентах прооперированных с 2017 по 2019 годы в Ленинградской областной клинической больнице, ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России и на базе многопрофильного медицинского центра СОГАЗ Геленджик.

Все пациенты в исследовании имели анамнез заболевания более 6 месяцев. Основными клиническими проявлениями на момент хирургического лечения выступали боль в спине и нижних конечностях, компрессионно-ишемическая радикулопатия, нарушения двигательной активности. У всех пациентов диагноз Спинальный стеноз подтвержден инструментально при помощи МРТ пояснично-крестцового отдела позвоночника. Снижение плотности костной ткани подтверждено данными денситометрии поясничного отдела позвоночника. Среднее снижение минеральной плотности кости по Т- критерию представлено в диаграмме № 1.

По половой принадлежности пациенты имели следующее распределение: мужчины 49 (47.1%), женщины 55 (52.9%). Распределение пациентов по уровням поражения представлено в таблице 1. В зависимости от установки того или иного импланта пациенты разделены на следующие 2 группы: первую группу (группа А) составили пациенты, которым выполнялась микрохирургическая декомпрессия позвоночного канала на поясничном уровне с установкой межостистой динамической системы Coflex (N = 53); вторую группу (группа Б) составили пациенты, которым также выполнялась микрохирургическая декомпрессия позвоночного канала на поясничном уровне, но с установкой межостистой динамической системы DIAM (N = 51). Средний срок наблюдения пациентов после операции составил 14.1 месяца (12–18 месяцев). Средний возраст пациентов составил 59,34 лет (50–85 лет).

#### Критерии включения пациентов в исследование

- ◆ Возраст пациентов старше 50 лет и наличие снижение плотности кости по данным денситометрии (от  $-1,2 SD$  до  $-2,9 SD$ )
- ◆ Клинические признаки дегенеративного стеноза позвоночного канала на поясничном уровне, подтвержденные данными МРТ пояснично-крестцового отдела позвоночника.
- ◆ Отсутствие в анамнезе предшествующих операций на данном сегменте позвоночника.

#### Критерии исключения пациентов из исследования

- ◆ Пациенты с тяжелым остеопорозом.
- ◆ Пациенты с травматическими повреждениями позвоночника.
- ◆ Пациенты со спондилолистезом 2 и более степени.
- ◆ Пациенты с наличием противопоказаний к установке межостистого импланта.

#### Клинические критерии оценки полученных результатов

В результате исследования оценивалась динамика неврологического статуса, интенсивность и длительность болевого синдрома, дальность ходьбы до наступления болей. Оценка степени нарушений активности пациентов оценивалась нами по индексу Освестри (ODI). Освестри — широко распространенная шкала, применяемая для оценки выраженности нарушений жизнедеятельности, связанных с патологией позвоночника. Для оценки выраженности боли в поясничной области применялась визуальная аналоговая шкала (ВАШ). Также применялся опросник по боли rain DETECT. Опросник удобен для заполнения, так как распределения болевых расстройств представлено в виде картинок, и объединено с опросником, обращенным на выявление признаком нейропатической боли.

Для статистической обработки материала применены пакеты прикладных программ IBM SPSS Statistica и Microsoft Office Excel 2016. Для оценки количественных данных использовались следующие критерии: t-критерий Стьюдента для независимых выборок, t-критерий Стьюдента для парных выборок, критерий Манна-Уитни. Для оценки качественных данных использовался критерий Хи-квадрат Пирсона. Для оценки нормальности распределения использовался критерий Колмогорова-Смирнова. Степень пороговой статистической значимости при сравнении качественных и количественных признаков в исследуемых группах принимали равными 0,05 ( $P < 0,05$ ). Каждый пациент, участвующий в исследовании, дал информированное согласие на участие в исследовании. Исследование проводилось с одобрения локального этического комитета Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. акад. И.П. Павлова.

#### Результаты

В группе с установкой динамической системы Coflex средний возраст пациентов был несущественно ниже:  $58,5 \pm 6,1$  лет, против  $60,2 \pm 6,2$  в группе DIAM. Подавляющее число пациентов обеих групп (47 пациента первой группы (87%), и 44 пациента второй группы (88%)) прооперированы на одном уровне. Наиболее часто производилось хирургическое лечение в сегменте L4-L5. (табл. 1). Показания к хирургическому лечению выставлялись на основании жалоб, анамнестических данных, данных объективного обследования, оценки неврологического дефицита и сопоставлении всего вышеперечисленного с данными инструментальных методов исследования.

Основными клиническими проявлениями заболевания у пациентов на дооперационном периоде были: люмбагия (62% больных), корешковые боли (75% пациентов), симптомы нейрогенной перемежающейся хромоты (54,5%) пациентов. В подавляющем большинстве случаев (85%) у пациентов отмечалось расстройство чувствительности в виде гипо- и анестезии в зоне иннервируемом пораженным корешком. У 69% пациентов расстройство чувствительности сочеталось со снижением рефлексов или слабостью в мышцах нижних конечностей.

Рентгенологически оценивались угол сегментарного лордоза на пораженном уровне, а также угол поясничного лордоза. Средний угол сегментарного лордоза до операции в первой группе составил  $6,3 \pm 0,9^\circ$ , средний угол поясничного лордоза составил  $45,4 \pm 3,4^\circ$ . Средний угол сегментарного лордоза во второй группе до операции составил  $6,1 \pm 1,1^\circ$ , средний угол поясничного лордоза составил  $45,1 \pm 3,2^\circ$  (табл. 3,4). Изменение углов сегментарного и поясничного лордоза, оцениваемые

Таблица 2. Оценка результатов хирургического лечения.

Имплант	Coflex			Diam		
	До операции	6 месяцев после операции	12 месяцев после операции	До операции	6 месяцев после операции	12 месяцев после операции
Срок наблюдения						
Оценка по индексу Освестри	59,2±12,7	26,1±10	23,1±8,3	58,6±11,3	24,6±9	19,9±7,8
Оценка по pain DETECT	38,4±7,4	25,1±7,8	20,8±7	39,8±7,2	24,2±5,7	20,4±6,4
Средняя фораминальная высота в мм.	14,0±2,7	18,1±2,3	17,2±2,1	14,1±2,9	17,7±1,7	17,1±1,4
Средняя высота на уровне заднего края диска в мм.	5,4±1,7	8,1±1,7	7,5±1,6	5,3±1,6	6,4±1,5	6,2±1,4
Оценка по ВАШ	7,1±1,6	4,1±1,1	3,4±1,2	7,2±1,4	3,5±1,3	2,8±1,1

Таблица 3. Оценка динамики поясничного и сегментарного лордоза при установке импланта Coflex.

Оцениваемый параметр	До операции	После операции	12 месяцев после операции
Сегментарный лордоз	6,3±0,9	5,5±1,0	5,9±1,0
Поясничный лордоз	45,4±3,4	43,4±2,9	44,6±3,3

Таблица 4. Оценка динамики поясничного и сегментарного лордоза при установке импланта Diam.

Оцениваемый параметр	До операции	После операции	12 месяцев после операции
Сегментарный лордоз	6,1±1,1	5,8±1,2	5,9±1,1
Поясничный лордоз	45,1±3,2	43,9±3,4	44,7±3,3

на 3–7 сутки, и через 12 месяцев после операции у первой группы пациентов представлены в таблице 3.

При проведении рентгенологических исследований через 12 месяцев после операции деформация во фронтальной плоскости определялась у одного пациента 1 группы. Сегментарная нестабильность оценивалась согласно критериям White A. A., Panjabi M. M. [11]. В первой группе сегментарная нестабильность выявлена у 2 пациентов (3,8% пациентов). Во второй группе сегментарная нестабильность выявлена у 1 пациента (2% пациентов) Интенсивность болевого синдрома до операции оценивалась по индексу Освестри, опроснику по боли pain DETECT, и визуальной аналоговой шкале. Обе группы показали значительное клиническое улучшение баллов по вышеуказанным опросникам. До хирургического лечения статистически значимых различий между пациентами в группах не отмечалось (табл. 2). Так же не отмечалось существенных различий при оценке фораминальной высоты и высоты заднего края диска в предоперационных снимках. В послеоперационном периоде выявлена отчетливая положительная динамика

в виде увеличения вышеуказанных показателей в обеих группах. (табл. 2).

Результаты хирургического лечения представлены в таблицах 2,3,4.

Развитие эрозии вокруг импланта оценивалось по данным рентгенографии через 12 месяцев после операции.

#### Осложнения

Осложнения в группе А. Инфекционное осложнение наблюдалось у одного пациента с межостистым имплантом Coflex, в связи с чем, имплант был удален (1,9%). Четверем пациентам выполнена повторная операция по поводу рецидива поясничного стеноза (7,5%). У двух пациентов при попытке установки импланта, произошел перелом остистого отростка, данные пациенты из исследования исключены. У двух пациентов отмечались переломы остистого отростка в послеоперационном периоде (3,8%). У одного пациента во время установки произошел

перелом импланта (1,9%). У шести пациентов отмечалась клинически незначимая миграция конструкции, не потребовавшая хирургической коррекции (11,3%).

Осложнения в группе Б. Трём пациентам выполнена повторная операция по поводу рецидива поясничного стеноза (5,7%). У четырех пациентов при попытке установки импланта отмечался перелом остистых отростков, данные пациенты из исследования исключены. У одного пациента отмечались перелом остистого отростка в послеоперационном периоде (2%). У четырех пациентов отмечалась клинически незначимая миграция конструкции, не потребовавшая хирургической коррекции (7,8%). Один пациент оперирован по поводу значительной миграции импланта (2%).

## Обсуждения

Дегенеративный стеноз поясничного отдела позвоночника может быть, вызван множеством этиологических факторов. Самыми частыми из них являются: уменьшение мышечного каркаса поясничного отдела позвоночника, гипертрофия связочного аппарата позвоночника, протрузия межпозвонкового диска, пролиферация суставных отростков, гиперостоз задней границы позвонка. Развитие стеноза позвоночного канала вызывает постоянную компрессию спинномозгового корешка, вызывая боль в пояснице и нижних конечностях, а также радикулопатию. Наиболее часто течение стеноза позвоночного канала имеет хроническое течение. В дебюте заболевания боль отличается малой интенсивностью и может облегчаться изменением положения тела, в связи с чем пациенты могут длительное время не обращаться за медицинской помощью [12].

Методы лечения стеноза поясничного отдела позвоночника можно разделить на консервативный и хирургический. Консервативное лечение включает в себя: физиотерапию, ЛФК (комплекс упражнений, направленных на укрепление поясничного отдела позвоночника), медикаментозную терапию, ношение корсета (направлено на уменьшение нагрузки на поясничный отдел позвоночника [13]. При неэффективности консервативной терапии прибегают к хирургическому лечению. На сегодняшний день общепризнанными считаются две методики хирургического лечения: декомпрессия, включающая в себя широкую ламинэктомию, и декомпрессия с заднебоковой стабилизацией [28(14)]. По данным зарубежных авторов декомпрессия плюс заднебоковой спондилодез является одной из самых частых операций при стенозе поясничного отдела позвоночника у пожилых людей [15]. Однако, по результатам исследований, исходная биомеханика позвоночника при этом виде операции нарушается. По данным, Юань и соавторов спондилодез существенно повышает объём движений

в смежных сегментах по сравнению с дооперационным уровнем, что может стать причиной ускоренной дегенерации соседних уровней и ещё более усугубить боль в пояснице [16].

Применение систем межостистой динамической стабилизации не оказывает существенного влияния на подвижность соседних сегментов, а также способствует распределению нагрузки на поражённом сегменте, тем самым делая его подвижность аналогичной здоровой. Таким образом, обеспечивается стабильность и не происходит повреждения соседних сегментов [17]. Проведённые исследования показали, что применение систем межостистой динамической стабилизации позволяет восстановить высоту межпозвонкового промежутка в ближайшем послеоперационном периоде [18]. Однако при длительном наблюдении (от 1 до 4-х лет) в большинстве случаев высота межпозвонкового диска возвращается на предоперационный уровень [19].

В нашем исследовании мы сравнивали фораминальную высоту и высоту на уровне диска при различных системах динамической стабилизации, а также выясняли, насколько системы динамической стабилизации способствуют эрозии остистых отростков у пациентов со сниженной костной плотностью. По данным Park и соавторов, костную эрозию следует рассматривать как осложнение установки импланта, так как костная эрозия может вызвать боль и дискомфорт в пояснице и это может снизить удовлетворение от хирургического лечения [19]. Впоследствии при прогрессирующей костной эрозии может произойти перелом остистого отростка, либо миграция межостистого импланта. По данным литературы, через 1 год после хирургического лечения эрозия вокруг импланта Soflex достигала 14%, а при 4-х летнем периоде наблюдения 47% [20].

Результаты наших исследований показали эффективность применения систем межостистой динамической стабилизации у пациентов с дегенеративным стенозом поясничного отдела позвоночника на фоне снижения костной плотности. Все пациенты в исследовании отмечали положительный результат по индексу Освестри (ODI), опроснику по боли pain DETECT и визуальной аналоговой шкале. Эрозия остистых отростков через 12 месяцев после операции наблюдалась у 11 пациентов группы А, что составляет 21%. Таким образом эрозия вокруг импланта более выражена у пациентов со сниженной костной плотностью.

Наше исследование является новым по сравнению с предыдущими исследованиями, так как включает в себя оценку систем динамической стабилизации у пациентов на фоне снижения костной плотности. Последующие исследования должны быть направлены

на дальнейшее наблюдение за пациентами и оценкой рентгенологических и клинических параметров, а также оценкой костной эрозии вокруг импланта.

## Выводы

Микрохирургическая декомпрессия с последующей межостистой динамической стабилизацией является методикой выбора у пациентов пожилого возраста ввиду минимальности послеоперационной раны, небольшой длительности операции и незначительности кровопоте-

ри. Результаты данного исследования позволяют судить о эффективности применения систем межостистой динамической стабилизации таких как Coflex и DIAM у пациентов со сниженной костной плотностью.

Согласно нашему исследованию у данной категории пациентов предпочтительнее использовать имплант DIAM, ввиду отсутствия развития эрозии вокруг импланта, а также более значимого улучшения показателей по индексу Освестри и визуальной аналоговой шкале.

## ЛИТЕРАТУРА

- Fay LY, Wu JC, Tsai TY, Wu CL, Huang WC and Cheng H: Dynamic stabilization for degenerative spondylolisthesis: Evaluation of radiographic and clinical outcomes. *Clin Neurol Neurosurg* 2013;115:535–541.
- Берснев В. П., Драгун В. М., Микаилов С. Ю., Кудзиев А. В. Хирургическое лечение поясничного спинального стеноза с применением межостистых имплантируемых устройств // *Политравма*. — 2016. — № 1. — С. 18–23. [Bersnev VP, Dragun VM, Mikailov SYu, Kudziev AV. Surgical treatment of lumbar spinal stenosis using interspinous implant devices. *Politrauma*. 2016;(1):18–23.
- Никитин А. С., Асратян С. А., Камчатнов П. Р. Стеноз поясничного отдела позвоночника // *Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова*. — 2015. — Т. 115. — № 7. — С. 130–140. [Nikitin AS, Asratyan SA, Kamchatnov PR. Stenosis of the lumbar spine. *Journal of neurology and psychiatry C. C. Korsakova*. 2015;115(7):130–140.
- Choudhri TF, Mummaneni PV, Dhall SS, Eck JC, Groff MW, Ghogawala Z, Watters WC III, Dailey AT, Resnick DK, Sharan A, et al: Guideline update for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 4: Radiographic assessment of fusion status. *J Neurosurg Spine* 2014;21;23–30.
- R. A. Deyo, S. K. Mirza, B. I. Martin, et al., Trends, major medical complications, and charges associated with surgery for lumbar spinal stenosis in older adults, *Jama* 303 2010;13:1259.
- Weinstein JN, Tosteson TD, Lurie JD, et al. Surgical versus nonoperative treatment for lumbar spinal stenosis four-year results of the Spine Patient Outcomes Research Trial. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35(14):1329–1338.
- Resnick DK, Watters WC III, Sharan A, et al. Guideline update for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 9: lumbar fusion for stenosis with spondylolisthesis. *J Neurosurg Spine*. 2014;21(1); 54–61.
- H. W. Bae, S. S. Rajae, L. E. Kanim, Nationwide trends in the surgical management of lumbar spinal stenosis, *Spine* 2013; 38 (11); 916.
- M. Etninan, F. P. Girardi, S. N. Khan, et al., Revision strategies for lumbar pseudarthrosis, *Orthop. Clin. N. Am.* 2002;33 (2); 381.
- T. J. Erica, J. R. Kamerlink, M. Quirno, et al., Survivorship of coflex interlaminar interspinous implant, *SAS J.* (2009);3 (2); 59.
- White A. A., Panjabi M. M. *Clinical Biomechanics of the Spine*, 2nd ed. // Philadelphia: Lippincott. 1990. (2). С. 18–20.
- Passmore SR, Johnson MG, Kriellaars DJ, Pelleck V, Enright A and Glazebrook CM: Fitts's Law using lower extremity movement: Performance driven outcomes for degenerative lumbar spinal stenosis. *Hum Mov Sci* 2015;44: 277–286.
- Yu SW, Yang SC, Ma CH, Wu CH, Yen CY and Tu YK: Comparison of Dynesys posterior stabilization and posterior lumbar interbody fusion for spinal stenosis L4 L5. *Acta Orthop. Belg.* 2012; 78;230–239.
- Yang M, Li C, Chen Z, Bai Y and Li M: Short term outcome of posterior dynamic stabilization system in degenerative lumbar diseases. *Indian J. Orthop.* 48: 574–581, 2014.
- Ai-min Li, Xiang Li, Zhong Yang. *International Journal of Surgery* 2017;40:60–67
- W. Yuan, Q. Su, T. Liu, et al., Evaluation of Coflex interspinous stabilization following decompression compared with decompression and posterior lumbar interbody fusion for the treatment of lumbar degenerative disease: A minimum 5-year follow-up study, *J. Clin. Neurosci.* 2017;35; 24–29.
- Park SC, Yoon SH, Hong YP, Kim KJ, Chung SK, Kim HJ. Minimum 2-year follow-up result of degenerative spinal stenosis treated with inter-spinous U (Coflex). *J Korean Neurosurg Soc.* 2009;46;292–299.
- Celik H, Derincek A, Koksali I. Surgical treatment of the spinal stenosis with an interspinous distraction device: do we really restore the foraminal height? *Turk Neurosurg.* 2012;22;50–54.
- Park P, Garton HJ, Gala VC, Hoff JT, McGillicuddy JE. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29;1938–1944.
- Zang L, Du P, Hai Y, Su QJ, Lu SB, Liu T. Device related complications of the Coflex interspinous process implant for the lumbar spine. *Chin Med J (Engl)*. 2013;126;2517–2522.

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ДИАГНОСТИКЕ ДЕМЕНЦИИ

### MODERN APPROACHES TO DIAGNOSTICS OF DEMENTIA

*M. Borovetskaya*

*Summary.* Dementia is a serious medical and social disease that does not respond to treatment. However, with the right choice of management tactics for patients with dementia, its course can be slowed down and alleviated. Therefore, it is important to diagnose the disease in a timely manner, even at the pre-dementia stage. Previously used diagnostic methods did not allow for a timely diagnosis, which makes it impossible to develop an effective approach to relieving the condition. For a long time, the ICD10, DSM–IV, and NINCDS-ADRDA criteria have been widely used to diagnose AD, based on the clinical manifestations of the disease and the severity of cognitive impairments.

Conceptual changes in diagnostics in recent years are associated with the inclusion of biomarkers and criteria for the pre-dementia stage, which make it possible to diagnose at an early stage, and even to predict the development of the disease in advance, before the appearance of its first signs. The improvement of diagnostics is due to the active introduction of new laboratory and neuroimaging methods into clinical practice. Research continues in terms of the search for markers that reflect various links in the pathogenesis of the neurodegenerative process at the biochemical and molecular levels. Methods of functional diagnostics are also widely used: MRI, CT, PET, FDG-PET. An integrated approach to diagnostics is justified.

*Keywords:* dementia, neurocognitive impairment, diagnosis, neuroimaging, early diagnosis, pre-dementia diagnosis, biomarkers of disorders.

**Боровецкая Мария Андреевна**

Врач-невролог, Московская центральная  
клиническая больница управления делами президента  
РФ (ЦКБ), г. Москва  
*mari.boroveczkaya@bk.ru*

*Аннотация.* Деменция — серьезное медико-социальное заболевание, которое не поддается лечению. Однако при правильном подборе тактики ведения пациентов с деменцией, ее течение можно замедлить и облегчить. Поэтому важно своевременно диагностировать заболевание, еще на додементной стадии. Применяемые ранее методы диагностики не позволяли своевременно поставить диагноз, что не дает возможности разработать эффективный подход к купированию состояния. Долгое время для диагностики БА широко использовались критерии МКБ10, DSM–IV и NINCDS-ADRDA, в основе которых лежали клинические проявления заболевания, степень выраженности когнитивных нарушений.

Концептуальные изменения в диагностике последних лет связаны с включением биомаркеров и критериев додементной стадии, которые позволяют поставить диагноз на ранней стадии, и даже спрогнозировать развитие заболевания заранее, до проявления его первых признаков. Совершенствование диагностики обусловлено активным внедрением в клиническую практику новых лабораторных и нейровизуализационных методов. Исследования продолжаются в плане поиска маркеров, отражающих различные звенья патогенеза нейродегенеративного процесса на биохимическом и молекулярном уровнях. Также широко применяются методы функциональной диагностики: МРТ, КТ, ПЭТ, ФДГ-ПЭТ. Оправдан комплексный подход к диагностике.

*Ключевые слова:* деменция, нейрокогнитивные нарушения, диагностика, нейровизуализация, ранняя диагностика, додементная диагностика, биомаркеры нарушений.

### Актуальность темы

**Д**еменция представляет собой совокупность неврологических заболеваний, в основе патогенеза которых лежат когнитивные нарушения (КН). В результате в значительной степени нарушается возможность полноценного профессионального, социального функционирования. Существенно снижается самостоятельность пациента, его повседневная активность, вплоть до полной утраты способности к самообслуживанию. При стремительном прогрессировании заболевания, человек нуждается в помощи со стороны других лиц [6, с.4].

Деменция практически всегда заканчивается инвалидностью. Лечения от деменции не существует, одна-

ко можно замедлить прогрессирование заболевания, снизить степень зависимости от помощи посторонних. В большинстве случаев деменция имеет выраженные разрушительные последствия не только для самого человека, но и для членов его семьи, ближайшего окружения. Именно по этой причине деменция переходит из сугубо медицинской проблемы в категорию медико-социальных проблем. В соответствии с данными ВОЗ, в настоящее время в мире насчитывается 35,6 млн. человек с деменцией. Отмечается тенденция к дальнейшему росту заболеваемости. По прогнозам ВОЗ, это число удвоится к 2030 году, и более чем утроится — к 2050 году.

Деменция влечет за собой неблагоприятные экономические последствия для самого человека, а также для членов семьи, лиц, осуществляющих уход за пациентом,

страдающим деменцией. Деменция неизбежно связана со стигматизацией, социальной изоляцией и депривацией, что делает ее значимой проблемой общественного здравоохранения [4].

Деменция представляет собой заболевание, которое развивается медленными темпами и имеет длительный доклинический период. Затем наступает продромальная стадия, для которой характерны выраженные клинические симптомы [9, с.33]. в основном, деменция рассматривается как заболевание, затрагивающее преимущественно лиц пожилого и старческого возраста. Однако это состояние не является естественной нормой, связанной со старением организма. Деменция представляет собой патологический процесс [2, с.118].

В настоящее время не существует лечения, которое позволило бы вылечить или приостановить развитие заболевания. Деменция характеризуется прогрессирующим течением, стремительным развитием. Тем не менее, в настоящее время существует ряд методов, которые позволяют облегчить состояние, улучшить жизнь как самого пациента, так и его ближайшего окружения [17, с. 15].

В настоящее время определенные трудности обнаруживаются и в сфере диагностики деменции. Так, постановка клинического диагноза в большинстве случаев возможна на стадии большого нейрокогнитивного расстройства (БНКР). В основе диагностики в большинстве случаев лежит нарушение в одной или нескольких когнитивных сферах. В первую очередь, отмечается прогрессирующее снижение памяти. Широкие перспективы раскрываются в связи с ранней диагностикой, поскольку при ранней диагностике можно своевременно принять меры, направленные на повышение эффективности проводимых лечебных, социально-реабилитационных мероприятий [9, с.33].

В связи с этим, актуальным медико-социальным вопросом является необходимость своевременной диагностики деменции, что позволит более эффективно и своевременно организовать лечение и реабилитацию пациентов с этим состоянием. Концептуальные изменения последних лет связаны с включением биомаркеров и критериев додементной стадии [6, с.4].

### Цель исследования

Рассмотреть современные подходы к диагностике деменции.

Долгое время для диагностики БА широко использовались критерии МКБ10, DSM-IV и NINCDS-ADRDA, согласно которым диагноз основывался на типичной клинической картине и по своей сути являлся диагнозом

исключения. При этом его постановка была возможна только на стадии тяжелых когнитивных нарушений, сопровождающихся развитием деменции [13, с. 39].

В основе диагностики деменции лежала оценка таких сфер, как когнитивные функции, функциональный статус. При этом немаловажная роль отводится оценке настроения пациента и его поведенческих реакций. В качестве основных диагностических критериев используются критерии DSM-5. Эти критерии направлены, прежде всего, на оценку таких важных диагностических критериев, как снижение памяти, паркинсонизм, зрительные галлюцинации, в которых появляются люди и/или животные, поведенческие ил регуляторные нарушения, нарушения речи [6, с.5].

Однако указанные методы не позволяют своевременно диагностировать заболевание, выявить его на доклиническом периоде, спрогнозировать характер развития патологии. Сегодня не вызывает сомнения необходимость комплексной диагностики деменции. Также необходимо проводить дифференцированную диагностику различных состояний [7, с.38–41]. Так, при постановке диагноза необходимо дифференцировать депрессию позднего возраста и деменцию. Симптоматика этих двух вариантов нарушений в некоторых аспектах имеет определенное сходство, что в первую очередь относится к когнитивным расстройствам. В результате могут возникать известные трудности дифференциальной диагностики, а соответственно и выбора адекватной терапии [12, с. 59].

Приведем алгоритм диагностики деменции. Выделены 8 основных этапов диагностики:

1. определение показаний для скринингового исследования на основе двух опросников;
2. скрининговое психологическое исследование (3 теста);
3. общая оценка когнитивных нарушений (два теста, один из них наиболее популярный MMSE);
4. выявление нейропсихологического профиля (6 тестов);
5. выявление аффективных и поведенческих (нейропсихиатрических) нарушений (3 опросника);
6. оценка функционального статуса (3 опросника);
7. синдромальная диагностика деменции;
8. нозологическая диагностика деменции [11, с.45].

Дифференциальная диагностика и выявление нозологической формы деменции нередко вызывает затруднения у клиницистов [1, с.24].

В качестве основных исследований, которые обязательно проводятся при диагностике деменции, следует рассматривать лабораторные и инструментальные методы. Из лабораторных методов в качестве обязатель-

ных выступают клинический и биохимический анализы крови. Это приобретает особую диагностическую значимость при диагностике анемических состояний, авитаминозов, метаболических нарушений, тиреотоксикоза, инфекционных и воспалительных заболеваний. Также зачастую проводится рентгенологическое исследование, ЭКГ, применяются методы нейровизуализации [5, с. 40].

Вместе с тем появление новых знаний о патологии БА позволило установить, что патофизиологический процесс при этом заболевании длится многие годы до появления первых клинических признаков. На сегодняшний день болезнь можно выявить задолго до наступления тяжелых нарушений, используя специальные биомаркеры [13, с.39].

В последние годы диагностика различных видов деменции существенно усовершенствовалась, что связано, в первую очередь, с активным внедрением в практику новых лабораторных и нейровизуализационных методов. В качестве наиболее значимых методов рассматривают определение бета-амилоида, тау-протеина и фосфорилированного тау-протеина в цереброспинальной жидкости (ЦСЖ). Широко применяется позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) с F18-дезоксиглюкозой (ФДГ) и лигандами амилоида (питтсбургское вещество — PIB), волюметрическая магнитно-резонансная томография (МРТ). Биомаркеры предложено разделять на две категории:

- ◆ биомаркеры, отражающие амилоидоз (снижение уровня бета-амилоида в ЦСЖ и отложение амилоида по данным ПЭТ с PIB);
- ◆ биомаркеры, отражающие нейрональную дегенерацию (повышение уровня тау-протеина и фосфорилированного тау-протеина в ЦСЖ, снижение метаболизма в теменно-височных областях по данным ПЭТ с ФДГ, атрофия средней, базальной и латеральной височной коры, а также медиальной и латеральной теменной коры по данным МРТ).

Исследования продолжаются в плане поиска маркеров, отражающих другие звенья патогенеза нейродегенеративного процесса, таких как клеточная гибель (маркеры апоптоза), синаптическое повреждение, оксидантный стресс (изопропан), воспаление (цитокины) [9, с.34].

Нозологическая диагностика деменции требует комплексного обследования нейропсихологического и функционального статуса пациентов, проведения лабораторного и нейровизуализационного исследования, особенно в случаях подозрения на смешанный тип, когда у пациента имеется сосудистый и нейродегенеративный процесс. Для скрининговой оценки уровня

когнитивных функций используются такие тесты, как MMSE (Mini-Mental State Examination — краткая шкала оценки психических функций), MoCA (Montreal Cognitive Assessment — Монреальская шкала оценки когнитивных функций) и Mini-cog (скрининговый опросник для определения когнитивных нарушений). При оценке степени тяжести деменции принято использовать клиническую шкалу оценки тяжести деменции (CDR). Более детально уровень когнитивных функций, а также эффективность терапии оценивают с помощью теста ADAS-Cog (Alzheimer's Disease Assessment Scale-cognitive subscale — шкала оценки когнитивных функций при БА) — специально разработанного нейропсихологического инструмента для деменции при БА [10, с.38].

Что касается параклинических лабораторных методов исследования, на сегодня не существует лабораторных тестов, позволяющих диагностировать заболевание, дифференцировать различные формы деменции. Однако эту функцию выполняют нейровизуализационные методы. К примеру, для диагностики фронтотемпоральной деменции и болезни Альцгеймера, широко используются методы функциональной визуализации. Также существуют различные методы дифференциальной диагностики, позволяющие дифференцировать различные формы деменции между собой. При этом в основе оценки лежат специально разработанные диагностические критерии. Также важны результаты инструментальных и психометрических методов оценки [8, с.19].

Когнитивные функции пациента можно оценить при помощи клиничко-нейропсихологических методов исследования. Оценка когнитивных функций является неотъемлемым компонентом комплексной диагностики неврологического статуса пациента. Оценка когнитивных функций основана на качественных и количественных методах. Оценка когнитивного состояния чаще всего применяется в синдромальной, топической, нозологической, дифференциальной диагностике. При помощи нейропсихологического исследования определяют характер и тяжесть когнитивных нарушений, а также определяют локализацию повреждений головного мозга. Проводится как первичное, так и повторные исследования. Повторные исследования применяются для оценки динамики нарушений, для оценки эффективности проводимого лечения. Эти методы позволяют определить прогрессирование заболевания, ремиссию, обратное развитие симптоматики [3, с.17].

В клинической картине деменции немаловажная роль отводится речевым нарушениям. Диагностика речевых нарушений также может дать немаловажную информацию о форме, характере развития заболевания. Детальный анализ речевых нарушений позволяет четко определить локализацию повреждений в головном

мозге, что важно для дальнейшей подборки лечебных мероприятий и мер коррекционного воздействия. Для оценки речевых нарушений лиц с деменцией широко используют такие диагностические тесты, как описание ситуационной картинке, пересказ текста, беседы на заданную тематику. Спонтанную речь оценивают при помощи метода интервью (или беседы) [16, с.23–26].

Для скрининга нарушений когнитивных функций рекомендуются следующие тесты: “5 слов”, проба Шульте, тест рисования часов. Для более полной оценки степени нарушения когнитивных функций и установления синдромального диагноза может применяться шкала MMSE (Mini Mental State Examination — краткая шкала оценки психического статуса), а также FAB (Frontal Assessment Battery — батарея лобной дисфункции). Кроме нейропсихологических тестов для диагностики когнитивных расстройств используются также клинические шкалы CDR (Clinical Dementia Rating scale — клиническая рейтинговая шкала деменции) и GDS (Global Deterioration Scale — общая шкала нарушений). Для верификации сосудистого генеза деменции применяется ишемическая шкала Хачинского [8, с.20].

Для диагностики используются методы функциональной диагностики: компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ). Внедрение в клиническую практику магнитно-резонансной томографии (МРТ) внесло большой вклад в совершенствование методов диагностики органических поражений головного мозга [15, с.86].

Наиболее широкое распространение получили такие методы, как ПЭТ и ФДГ-ПЭТ. Позитронно-эмиссионная

томография (ПЭТ) — метод исследования внутренних органов и тканей тела, позволяющий оценить такие метаболические процессы мозговой ткани, как утилизация кислорода, обмен глюкозы, капиллярный кровоток и перфузию, сродство специфических рецепторов и их количество. Полученная информация позволяет выявить отклонения в жизнедеятельности клеток головного мозга, которые возникают в самом начале развития того или иного заболевания.

ПЭТ с 18-фтордезоксиглюкозой (18ФДГ), или ФДГ-ПЭТ широко используется для изучения деменции и может быть эффективным способом ранней диагностики и дифференциальной диагностики различных типов деменции [14, с.68].

Таким образом, деменция представляет собой серьезное медико-социальное заболевание, которое не поддается лечению. Однако при правильном подборе тактики ведения пациентов с деменцией, ее течение можно замедлить и облегчить. Поэтому первоочередная значимость отводится своевременной диагностике деменции. В клинической практике диагностика порой вызывает затруднения. Это связано в первую очередь, с тем, что диагностировать заболевание на ранней стадии, практически невозможно. Поэтому концептуальные изменения в диагностике последних лет связаны с включением биомаркеров и критериев додементной стадии [6, с.4]. Совершенствование диагностики обусловлено активным внедрением в клиническую практику новых лабораторных и нейровизуализационных методов. Исследования продолжаются в плане поиска маркеров, отражающих различные звенья патогенеза нейродегенеративного процесса на биохимическом и молекулярном уровнях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Альжанова Д. С., Жусупова А. С., Альманахова К. К., Аскарлова Ш. Н., Кайырлыкызы А., Садыкова Д. Р. Проблема возрастной деменции в Астане // Нейрохирургия и неврология Казахстана. — 2017. — № 4(49). — С. 24–27.
2. Батмитова Р. Р. Деменция у пожилых людей как актуальная проблема современности // Евразийское научное объединение. — 2018. — № 6–2(40). — С. 118–120.
3. Гришина Д. А. Нейропсихологическая диагностика и лечение пациентов с деменцией // Медицинский совет. — 2018. — № 18. — С. 16–22.
4. Деменция: приоритет общественного здравоохранения // бюллетень Всемирной Организации Здравоохранения. — 2013. — Режим доступа: [http://www.who.int/about/licensing/copyright\\_form/en/index.html](http://www.who.int/about/licensing/copyright_form/en/index.html) (дата обращения — 15.01.2021).
5. Котов А. С., Елисеев Ю. В., Мухина Е. В. Сосудистая деменция // Медицинский совет. — 2016. — № 5. — С. 39–41.
6. Кулеш А. А., Шестаков В. В. Современные подходы к диагностике и лечению большого нейрокогнитивного расстройства // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. — 2017. — № 9(4). — С. 4–9.
7. Литвиненко И. В., Данилкина М. Ю. Комплексная диагностика как условие дифференцированной коррекционной помощи при деменции (приобретенном слабоумии) // Вестник Ленинградского государственного университета им. А. С. Пушкина. — 2015. — Т. 3. — № 4. — С. 38–46.
8. Меркин А. Г., Комаров А. Н., Кажин В. А. Деменция в общей практике (дифференциальная оценка и терапия) // Нервные болезни. — 2016. — № 2. — С. 18–23.
9. Нестерова М. В. Актуальные аспекты диагностики и лечения болезни Альцгеймера на основе современных зарубежных рекомендаций // Медицинский совет. — 2018. — № 6. — С. 33–37.

10. Нестерова М. В. Диагностика и терапия сосудистой и смешанной деменции // Медицинский Совет. — 2016. — № 11. — С. 37–40.
11. Носачев Г. Н. Синдром деменции в понимании неврологов и психиатров (методология диагноза) // Российский психиатрический журнал. — 2017. — № 5. — С. 42–49.
12. Петрова Н. Н., Круглов Л. С., Пчеловодова К. А. Клинические характеристики депрессии позднего возраста и показатели когнитивного функционирования у пациентов с формирующейся коморбидной деменцией // Вестник Санкт-Петербургского университета. — 2015. — С. 11. — № 2 — С. 59–66.
13. Прожерина Ю. А. Деменция при болезни Альцгеймера: проблема и решение // Ремедиум. — 2017. — № 12. — С. 36–41.
14. Прокопенко С. В., Баранкин Б. В., Марьина Н. М., Можейко Е. Ю., Зубрицкая Е. М., Чанчикова Н. Г., Токарев Н. А., Карлова Е. А., Озерская А. В., Бадрин Е. А., Белугин К. В., Савельева А. А., Шепелевич Н. В. Диагностика болезни Альцгеймера с использованием ПЭТ/КТ: клиническое наблюдение // Сибирское медицинское обозрение. — 2018. — № 6. — С. 67–73.
15. Рахимбаева Г. С., Толибов Д. С. Особенности нейровизуализации при диагностике болезни Альцгеймера // Вестник КАЗНМУ. — 2015. — № 3. — С. 86–88.
16. Семенова Т. Н., Гузанова Е. В., Сорокина Т. А. Особенности речевых нарушений и их диагностики при нейродегенеративных заболеваниях // Практическая медицина. — 2019. — Т. 17. — № 3. — С. 23–27.
17. Сидорова И. И., Широкова И. И. Деменция: проблема и ее решения // Ремедиум. — 2014. — № 11. — С. 14–20.
18. Ткачева О. Н., Рунихина Н. В., Чердак М. Г. Сосудистые когнитивные расстройства: от патогенеза к лечению // Врач. — 2017. — № 6. — С. 16–19.

© Боровецкая Мария Андреевна ( mari.boroveczkaya@bk.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Московская центральная клиническая больница управления делами президента РФ (ЦКБ)

# ТРИМЕТИЛАМИНОКСИД (ТМАО) КАК ПРЕДИКТОР РИСКА И МИШЕНЬ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ И ТЕРАПИИ ЗАБОЛЕВАНИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМ

## TRIMETHYLAMINOXIDE (TMAO) AS A RISK PREDICTOR AND A TARGET FOR THE PREVENTION AND TREATMENT OF DISEASES OF THE CARDIOVASCULAR AND CENTRAL NERVOUS SYSTEMS

I. Eremenko

*Summary.* Cardiovascular, cerebrovascular and neurodegenerative disorders, research for different ways for their prevention and treatment are actual problems of medicine. Recent studies have revealed potentially common pathogenetic links for all of this pathologies which are associated with the status of the gut microbiota. This review analyzes one of the key metabolites of the intestinal microbiota — trimethylamine-N-oxide (TMAO), and its relationship with the human body and the pathophysiology of metabolic syndrome, atherosclerosis, cardiovascular diseases, Alzheimer's disease. Special emphasis is placed on the participation of TMAO in the humoral regulation of metabolism, protein stability, and the immunotropic effects of TMAO. Author briefly described the pathophysiology of the above pathologies and the involvement of TMAO at certain stages of their pathogenesis. This review is attempt to critically examine TMAO as a significant metabolite of microflora and identify the role of TMAO as one of the links between the microbiota, metabolic disorders and complex processes underlying atherosclerosis and neurodegenerative disorders. In addition, author propose and describes perspective ways for the prevention and therapy based on the impact on the microbiota and its metabolites. The review is based on current research published in peer-reviewed journals.

*Keywords:* trimethylaminoxide, atherosclerosis, neurodegeneration.

Еременко Иван Иванович

Международная Школа «Медицина Будущего»;  
Сеченовский Университет, Москва  
dvavani@mail.ru

*Аннотация.* Одними из актуальных проблем современной медицины являются сердечно-сосудистые, цереброваскулярные и нейродегенеративные заболевания, поиски подходов к их профилактике и лечению. Исследования последних лет выявили потенциально общие для этих патологий патогенетические звенья, связанные с состоянием кишечной микробиоты. В настоящей обзорной работе приведен анализ одного из ключевых метаболитов кишечной микробиоты — триметиламин-N-оксида (ТМАО), и его взаимосвязей с организмом человека и патофизиологией метаболического синдрома, атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний, а также болезни Альцгеймера. Особый акцент сделан на участие ТМАО в гуморальной регуляции метаболизма, стабильности белков, иммуностропные влияния ТМАО. Описана патофизиология вышеуказанных патологий и участие ТМАО на отдельных этапах их патогенеза. Автором сделана попытка критического рассмотрения ТМАО как значимого метаболита микрофлоры и выявление роли ТМАО как одного из звеньев, связывающих между собой микробиоту, метаболические расстройства и сложные процессы, лежащие в основе атеросклероза и нейродегенеративных расстройств. Помимо этого, предложены и рассмотрены перспективные средства для профилактики и терапии указанных патологий, основанные на воздействии на микробиоту и ее метаболиты. Обзор базируется на актуальных исследованиях, опубликованных в рецензируемых журналах.

*Ключевые слова:* триметиламиноксид, атеросклероз, нейродегенерация.

## Введение

**Н**аиболее угрожающими заболеваниями в XXI веке, по разным оценкам, занимающими лидирующие позиции в списках причин смертности, являются заболевания сердечно-сосудистой системы и цереброваскулярные заболевания [1]. Патогенетически обе эти причины тесно взаимосвязаны, в частности, они могут сочетаться (при системном атеросклерозе артерий); цереброваскулярные заболевания могут быть напрямую связаны с патологиями сердца и сосудов (например, тромбоэмболический инфаркт головного мозга, про-

исходящий из левого предсердия у больного мерцательной аритмией). К заболеваниям, вызывающим одни из самых высоких показателей инвалидизации, относятся дегенеративные заболевания центральной нервной системы, важнейшее из которых — болезнь Альцгеймера. Следует отметить, что все вышеперечисленные формы патологии представляют огромную сложность для профилактики и лечения: многие факторы, считающиеся факторами риска их развития, до сих пор окончательно не определены, а последствия данных заболеваний зачастую необратимы. В качестве одного из потенциально корригируемых факторов риска, общего для всех

указанных форм патологии рассматривается дисбиоз кишечника и других биотопов, в частности, ротовой полости, сопровождающийся патологическими сдвигами во всем организме, в частности, появлением потенциально токсичных метаболитов в биологических жидкостях организма [2, 3]. В настоящее время во всем мире ведется активное исследование самых разнообразных взаимосвязей микробиома кишечника со многими заболеваниями, и в данной работе подробно рассмотрен один из метаболитов кишечной микрофлоры — триметиламиноксид (ТМАО), изучение которого позволило некоторым специалистам считать его новым маркером, а также индикатором степени риска таких заболеваний, как атеросклероз, артериальная гипертензия и болезнь Альцгеймера [4].

### Взаимосвязи кишечного микробиома и макроорганизма

Кажущееся на первый взгляд отсутствие взаимосвязи между дисбиозом кишечника и риском развития и прогрессирования таких системных заболеваний, как атеросклероз или болезнь Альцгеймера, опровергается многочисленными экспериментальными и клиническими данными. В частности, первые идеи о важной роли толстого кишечника и его микрофлоры были впервые широко высказаны И. И. Мечниковым в конце XIX столетия и были подкреплены данными об изменении в самочувствии и объективном состоянии пациентов после оперативной резекции различных участков толстого кишечника [5]. Однако лишь относительно недавно научное сообщество начало подробное изучение молекулярных механизмов взаимосвязей микрофлоры и организма, а также роль изменений в них с различными патологическими состояниями, выходящими за пределы желудочно-кишечного тракта. На сегодняшний день получены впечатляющие эксперименты, определившие конкретные механизмы, посредством которых отдельные представители микрофлоры влияют на гомеостаз всего организма. На основании большинства экспериментов все указанные механизмы можно разделить на три большие группы: гуморальные, нейрональные (трансневральные), а также иммунотропные (изменяющие иммунный гомеостаз) [6]. Триметиламиноксид (ТМАО) преимущественно рассматривается в контексте гуморальных, а также иммунотропных влияний микрофлоры.

### Триметиламиноксид (ТМАО) и метаболизм

Триметиламиноксид (ТМАО) представляет собой небольшую органическую молекулу, продукт метаболизма бактериями кишечной микрофлоры таких соединений, как холин, бетаин и карнитин. ТМАО определяется в плазме крови, а также в некоторых других

биологических средах организма (в частности, существуют исследования, показывающие корреляцию между повышенным уровнем ТМАО в цереброспинальной жидкости и болезнью Альцгеймера) [7]. Некоторые исследователи полагают, что повышение содержания ТМАО и его предшественников ассоциировано с богатой насыщенными жирами и богатой холином диетой [8]. Определены и типы бактерий, синтезирующие ТМАО: к ним относятся представители типа Firmicutes — бактерии рода *Anaerococcus*, *Clostridium*, *Desulfotobacterium*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, а также представители Proteobacteria — *Desulfovibrio*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Actinobacter* [9]. Есть предположения, что это вещество может быть одним из звеньев, которым так называемая «западная» диета связаны с развитием ожирения и сахарного диабета (СД) II типа [10]. Крупное эпидемиологическое исследование показало, что содержание холина/бетаина/ТМАО в плазме крови коррелирует с прогрессированием неалкогольной жировой болезни печени — заболевания, тесно связанного с ожирением, метаболическим синдромом и инсулинорезистентностью [11]. Небезызвестен и положительный эффект трансплантации микробиома кишечника людям с нормальной или сниженной массой тела пациентам, страдающим ожирением: имеются противоречивые данные относительно механизмов данной процедуры [12]. Показано снижение инсулинорезистентности, однако данный эффект кратковременный. Возможно, дополнительную роль играет временное снижение уровня ТМАО и некоторых других метаболитов микрофлоры, воздействующих на различные звенья патогенеза ожирения и метаболического синдрома: хронического воспаления в жировой ткани и патологические изменения фенотипа адипоцитов. Предполагают различные механизмы такой взаимозависимости: доказано, что ТМАО может опосредовать воспаление в различных тканях, в частности, в жировой, что изменяет метаболизм адипоцитов, увеличивает синтез ими резистина, снижая концентрацию GLUT4 (инсулин-зависимый рецептор глюкозы) на их мембране, усиливая инсулинорезистентность, что ассоциировано как с увеличением так называемого «абдоминального ожирения», так и с нарушением толерантности к глюкозе; помимо этого, появляются данные о важной роли оси ТМА/ФМОЗ/ТМАО (триметиламин/flavin монооxygenase 3/триметиламин-N-оксид) в качестве связующего звена между кишечной микробиотой, обменом холестерина и липидов и патофизиологии ожирения и атеросклероза [13]. Как полагают, ФМОЗ — фермент гепатоцитов, осуществляющий превращение ТМА в ТМАО; нокдаун ФМОЗ приводит к снижению всасывания холестерина в кишечнике, а также достоверно снижает соотношение ЛПНП/ЛПВП в сыворотке крови с изначально повышенным коэффициентом атерогенности, что подтверждает значительную роль ТМАО в этих процессах. Нарушение

обмена холестерина и триглицеридов, а также развитие инсулинорезистентности под действием ТМАО, действуя взаимосвязано, усугубляют одновременно два фактора риска сердечно-сосудистых заболеваний — ожирение и нарушение толерантности к глюкозе (с высокой вероятностью перехода в СД II типа); помимо прочего, ТМАО непосредственно принимает участие в развитии атеросклероза. Очень важным и актуальным является исследование, которое подтвердило протективную роль вегетарианской диеты в развитии атеросклероза с точки зрения обмена ТМАО и его предшественников: авторы буквально называют употребление в пищу красного мяса (и других продуктов, содержащих L-карнитин) хронической интоксикацией L-карнитином [14]. В данной работе показана прямая корреляция между увеличением содержания L-карнитина в пище, усиление синтеза ТМАО кишечной микрофлорой и сразу несколько значимых эффектов: ТМАО и его предшественники изменяют всасывание холестерина в кишечнике, изменяют обмен желчных кислот в печени и их энтерогапатическую рециркуляцию, увеличивают накопление холестерина в макрофагах в местах с уже имеющимся атеросклерозом. В настоящее время проводятся активные исследования участия ТМАО в метаболизме липидов и в его роли в обмене углеводов, изучается возможность использования функциональных антагонистов холина/бетаина/ТМАО в качестве вспомогательных средств для более эффективного снижения веса: в частности, появляются исследования, говорящие о снижении концентрации ТМАО в сыворотке под действием ингибитора АПФ — эналаприла [15].

## ТМАО и кардиоваскулярная патология

### Участие ТМАО в патофизиологии атеросклероза

Одним из наиболее востребованных для исследователей микробиоты вопрос: могут ли метаболиты бактерий напрямую вызывать какие-либо патологии? Какова степень их участия в патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний: являются ли они ключевыми или, сопутствующими или направляющими процесс? Многие исследования роли ТМАО пока не дают окончательного ответа. Более того, статистические исследования взаимосвязи повышенного уровня ТМАО и его предшественников и некоторых ассоциированных патологий (сердечно-сосудистых, таких как инфаркт миокарда (ИМ), инсульты, фибрилляция предсердий, а также метаболических, таких как СД II типа), показывают противоречивые результаты. Некоторые из них показывают прямую взаимосвязь значимого увеличения риска развития указанных патологий с повышением уровня указанных метаболитов, а другие демонстрируют несущественное увеличение риска для сердечно-сосудистых

заболеваний и существенное только для СД II типа [16, 17]. Использование статистических методов в исследовании роли отдельных факторов риска (таких как ТМАО и его предшественников) в развитии конкретных патологий требует создание максимально однородных по другим показателям групп, чтобы чувствительность исследования к изучаемому фактору была максимальной — добиться этого достаточно трудно, однако крупный мета-анализ, основанный на результатах 19 исследований, суммарно изучивших более 19 000 пациентов, продемонстрировал увеличение риска сердечно-сосудистых событий [18]. Некоторые механизмы, доступные для изучения *in vitro/in vivo* на животных, изучены лучше. Доказано, что триметиламиноксид *in vitro* вызывает повреждение эндотелия, опосредованное оксидативным стрессом (одно из ключевых звеньев патогенеза атеросклероза и сердечно-сосудистых патологий) [19]. Помимо этого, под действием ТМАО в эндотелии активируется синтез HMGB1 (high-mobility group box protein 1), являющегося провоспалительным медиатором, опосредующим активацию эндотелия [20], увеличивается его проницаемость для липопротеидов низкой и очень низкой плотности, а также усиливается миграция моноцитов через эндотелий в стенку сосуда — под влиянием триметиламиноксида происходят воспалительные изменения эндотелия, характерные для атеросклероза [21]. Точный механизм этих влияний не выяснен: предполагается, что ТМАО может изменять свойства плазмолеммы эндотелиальных клеток и может оказывать токсическое воздействие; не исключается также геномный эффект: возможно, что данное вещество может регулировать экспрессию/репрессию некоторых генов в эндотелии и клетках воспаления [22]. Помимо этого, метаболические эффекты ТМАО, в частности, его влияния на обмен липидов, холестерина и желчных кислот опосредуют сразу несколько патогенетических механизмов развития атеросклероза: ТМАО изменяет всасывание экзогенного холестерина в кишечнике, влияет на синтез эндогенного холестерина в гепатоцитах (как указывалось ранее, важную роль в этих процессах играет печеночный фермент FMO3); возможно ТМАО также влияет на синтез рецепторов ЛПНП и непосредственно ЛПНП [23]. Эффекты на обмен веществ в совокупности увеличивают риски развития атеросклероза, так как в конечном итоге в сыворотке крови повышается содержание общего холестерина, а также соотношение ЛПНП/ЛПВП («коэффициент атерогенности»). Помимо этого, ТМАО влияет на активность одних из ключевых клеток в атеросклерозе, а именно макрофагов — «пенистых клеток», фагоцитирующих ЛПНП в интиме пораженных сосудов с помощью скэвенджер-рецепторов: ТМАО затрудняет внутриклеточное переваривание ЛПНП, усиливая его накопление в интиме сосудов [24]. Пока нет подробных данных о подобных эффектах предшественников ТМАО, таких, как L-карнитин, тем не менее многие авторы го-

ворят о не менее значимой роли этих метаболитов [25]. Указанные выше эффекты ТМАО и его предшественников на развитие инсулинорезистентности и возможности их участия в патогенезе СД и метаболического синдрома также указывают на другие возможные эффекты ТМАО, в частности, опосредованные воспалением, высказаны предположения относительно возможной роли ТМАО в формировании провоспалительного фенотипа в эндотелии, а также в возможной положительной регуляции одного из ключевых маркеров, ассоциированных с этим состоянием: С-реактивного протеина (СРП) [26].

## ТМАО и ишемическая болезнь сердца (ИБС)

### Острый коронарный синдром

Примечательны крупные эпидемиологические исследования, утверждающие значимость ТМАО, а также и других метаболитов как факторов риска острых тромботических событий [27]. Большая часть исследований говорит о том, что практически для всех острых сердечно-сосудистых и цереброваскулярных заболеваний повышение сывороточной концентрации ТМАО и его предшественников является фактором риска [28]. Такая неоднозначность выводов демонстрирует еще неполное понимание нами соотношения патогенности и протективности эффектов отдельных представителей микробиоты в острых сердечных событиях. Тем не менее, выявлены патогенетические механизмы, благодаря которым ТМАО может способствовать развитию таких состояний: была показана его способность увеличивать агрегацию и активацию тромбоцитов, что в совокупности с вышеуказанной его способностью вызывать дисфункцию эндотелия объясняет его участие в острых тромботических событиях [29]. Помимо этого, уровни ТМАО в сыворотке коррелируют с содержанием СРП в сыворотке и локальным повышением ИЛ-1 (интерлейкин-1) в интиме артерий, пораженных атеросклерозом; эти провоспалительные вещества являются независимыми факторами риска острого коронарного синдрома, а совместно могут еще больше повышать риск [26, 30]. Теоретический механизм в таком случае приблизительно следующий: ТМАО, усиливая местную воспалительную реакцию в нестабильной бляшке (plaque vulnerable), способствует ее разрыву (за счет хемоаттракции нейтрофилов, их активации, усилению фагоцитоза и выброса лизосомальных ферментов во внеклеточную среду и усилению катаболических процессов в бляшке), что является инициальным звеном острого тромбоза; усиленная под действием ТМАО способность тромбоцитов к агрегации и активированный эндотелий усиливают образование тромба в месте разрыва, что клинически может проявляться любой формой коронарного синдрома, в зависимости от тяжести указанных процессов.

### Хроническая ИБС

Описанные выше процессы, в частности, прогрессирующий атеросклероз и непосредственно связанные с ним ишемические повреждения миокарда зачастую приводят к развитию клинического синдрома хронической сердечной недостаточности. Особенно интересно проследить, как взаимосвязано прогрессируют часто сочетающиеся у одного пациента патологические процессы: атеросклероз, дисфункция миокарда, инсулинорезистентность и ожирение. Показано, что застойные явления в кишечной стенке, возникающие вследствие хронической сердечной недостаточности, могут вызывать повышение проницаемости кишечного слизистого барьера, что в свою очередь ведет к увеличению содержания метаболитов кишечной микрофлоры (в частности, ТМАО, карнитина и липополисахарида (LPS)) в крови воротной вены, а также в системном кровотоке; помимо этого, в кишечнике происходят дисбиотические сдвиги и снижается концентрация бактерий, продуцирующих короткоцепочечные жирные кислоты (short chain fatty acids, SCFAs), играющих протективную и антагонистическую роль по отношению к ТМАО [31]. Выше описаны эффекты ТМАО на регуляцию обмена холестерина и липидов в гепатоцитах: в конечном итоге повышается коэффициент атерогенности сыворотки. Усиливающаяся под воздействием ТМАО инсулинорезистентность в жировой ткани, а также персистенция провоспалительного фенотипа адипоцитов также изменяют метаболизм липидов в сторону увеличения атерогенности. В результате совокупные метаболические эффекты ТМАО приводят к прогрессированию атеросклероза и ишемическим повреждениям миокарда. Более того, показана способность ТМАО непосредственно влиять на сократимость кардиомиоцитов: ТМАО может вызывать дезорганизацию Т-канальцевой сети и дисфункцию регуляции содержания  $Ca^{2+}$ , что может усиливать полимеризацию тубулина и нарушать процесс механического сокращения кардиомиоцитов, усугубляя таким образом систолическую дисфункцию миокарда [32], что еще больше усиливает явления сердечной недостаточности, приводящие к еще большему повышению проницаемости кишечного барьера,— таким образом замыкается порочный круг, связывающий микрофлору, метаболизм липидов и ИБС.

Приведенных данных достаточно для того, чтобы сделать определенные выводы: необходимы дальнейшие исследования потенциально атерогенных метаболитов микрофлоры, так как в дальнейшем это открывает сразу несколько перспектив для клинической практики. Во-первых, содержание указанных (а, возможно, и других метаболитов) в сыворотке крови — перспективный метод скрининга и контроля активности атеросклероза, весьма вероятно, что повышенный их уровень будет признан фактором риска атеросклероза. Во-вторых, от-

крывается новый терапевтический подход к комплексной профилактике и терапии атеросклероза, связанный с воздействием на кишечную микробиоту.

### ТМАО и болезнь Альцгеймера

Болезнь Альцгеймера представляет собой огромную проблему для здравоохранения: по данным Alzheimer's association в мире деменцией страдает почти 50 миллионов человек, при этом, как минимум, 75% всех случаев деменции вызваны болезнью Альцгеймера, что сопряжено с огромными экономическими потерями и с серьезной инвалидизацией большого числа пожилых людей [33]. В XXI веке прогнозируется рост числа заболевших данной болезнью, при этом не до конца ясно, с чем именно связан такой рост, поэтому неудивительно, что в мире активно ведется всестороннее изучение возможных причин и механизмов развития болезни Альцгеймера, а также самых разных подходов к ее лечению и профилактике. В некоторых крупных статьях, посвященных болезни Альцгеймера, упоминалось возможное влияние микробиоты на развитие данного заболевания, однако, на тот момент не было исследований, которые могли бы в полной мере опровергнуть или подтвердить такую возможность [34]. Тем не менее, в нескольких крупных работах было продемонстрировано наличие сразу нескольких патофизиологических осей, связывающих различные биотопы организма и центральную нервную систему. Эти «оси» связывают хроническое воспаление и нарушение проницаемости слизистых полости рта и кишечника с повышением содержания микробных метаболитов и антигенов в биологических средах организма [35]. Персистирующая иммунная стимуляция может затрагивать и головной мозг, так как некоторые из указанных агентов могут проникать через гемато-энцефалический барьер — показано, что у пациентов с различными патологическими процессами в ротовой полости или кишечнике может развиваться особая форма ответа нервной ткани — нейровоспаление. По данным исследований последних лет, оно может играть ключевую роль в развитии нейродегенеративных процессов [36]. Немаловажно, что в патогенезе нейровоспаления особую роль могут играть такие микробные метаболиты, как ТМАО и карнитин. Одно крайне интересное крупное статистическое исследование показало, что сразу несколько метаболитов кишечной флоры (им были даны специальные названия с приставкой AD (Alzheimer's Disease): AD-3,4-дигидроксибензолуксусная кислота, AD-маннитол и AD-янтарная кислота, а также ТМАО-AD) ассоциированы с развитием болезни Альцгеймера [37]. В данном исследовании, значимом для понимания степени участия микрофлоры в патогенезе деменции, продемонстрирована взаимосвязь диеты, богатой насыщенными жирами и продуктами, содержащими L-карнитин (красное мясо), уровнем ТМАО в цереброспинальной

жидкости (ЦСЖ), и степени когнитивных нарушений, независимо от их этиологии. Авторам удалось установить, что кишечные метаболиты напрямую взаимосвязаны с болезнью Альцгеймера, но косвенно связаны и с не менее значимым видом деменции — так называемой сосудистой деменции, которая возникает, чаще всего, на фоне атеросклеротического поражения сосудов головного мозга и хронической ишемии мозга. Другое статистическое исследование, проведенное с использованием линейного регрессионного анализа, продемонстрировало, что уровень ТМАО статистически значимо повышен в группе людей с подтвержденной болезнью Альцгеймера по сравнению с группой здоровых людей [38]. Наличие прямой взаимосвязи между повышенным уровнем ТМАО в ЦСЖ и развитием болезни Альцгеймера статистически доказано, однако механизмы этой взаимосвязи, как и патогенеза развития этой болезни, остаются непонятными и интригующими. Для понимания того, как именно бактериальные метаболиты могут влиять на процессы, происходящие в мозге, необходимо остановиться на уже выясненных компонентах патогенеза болезни Альцгеймера [39].

В настоящий момент наиболее современная и правдоподобная теория возникновения болезни Альцгеймера базируется на том, что это заболевание возникает вследствие нарушения обмена и конформации определенных нейрональных белков (белка-предшественника амилоида, amyloid-precursor-protein, APP) с формированием  $\beta$ -амилоида, а также нарушения функции тау-протеина, основная функция которого — связь с нейрофиламентами и поддержание их конфигурации. Данные предположения основаны, прежде всего, на богатом опыте патологоанатомических находок, патогномичных для болезни Альцгеймера («сенильных бляшек», а также патологических клубков в нейронах, содержащих гиперфосфорилированный тау-протеин в головном мозге), а также на многочисленных исследованиях *in vivo* и *in vitro*, давших подробные объяснения, как устроен патогенез указанной патологии. Было выяснено, что  $\beta$ -амилоид, обладающий доказанной нейротоксичностью, склонный к агрегации и формированию амилоидных сенильных бляшек, которые также могут непосредственно оказывать токсическое действие на нейроны. В норме обмен APP происходит по двум путям: неамилоидогенный (когда APP расщепляется на поверхности нейрона сначала  $\alpha$ -секретазой, а затем  $\gamma$ -секретазой, при этом образуется растворимый фрагмент) и амилоидогенный (когда APP подвергается эндоцитозу, затем расщепляется внутриклеточно  $\beta$ -секретазой, а затем  $\gamma$ -секретазой — при этом образуется две изоформы A $\beta$ -амилоидного белка). Другой патогенетический путь развития болезни Альцгеймера, связанный с тау-протеином и нейрофиламентами, гораздо менее изучен, и предполагается, что он играет сопутствующую, а не основную роль. Тем

не менее, оба пути связаны как с генетическими причинами (а также эпигенетическими изменениями генов, задействованных в обмене указанных белков), так и внешними воздействиями, в частности, с метаболитами кишечной микрофлоры. Примечательно, что ТМАО, как демонстрируют исследования, связан с обоими указанными выше путями, и были продемонстрированы не только возможные механизмы его участия в патофизиологии болезни Альцгеймера, но и перспективы терапевтического воздействия на него.

В контексте участия ТМАО важной является теория о так называемых «внутренне неустойчивых белках» (intrinsically disordered proteins, IDPs), к которым относятся упомянутые выше  $\beta$ -амилоид тау-протеин [40]. Биохимические исследования данных белков показали наличие комплексной регуляции их конформации и функционирования огромным множеством факторов (генетических, включая эпигенетические изменения генов, кодирующих данные белки), а также гуморальных (в частности, в нескольких крупных работах были рассмотрены ТМАО, мочевина, и многие другие вещества, так или иначе воздействующие на белки). Было показано, что *in vitro* данная регуляция осуществляется на тончайшем уровне, что дало предпосылки для разработки гипотезы о «суперпозиции ансамблей» — о сложной и многокомпонентной системе регуляции «ансамблями» (термин, употребляемый для характеристики совокупности различных внутренних и внешних факторов) структуры и функционирования белков в живом организме [41]. Эта теория необходима и для более точного понимания и эффективного исследования патологий, связанных с нарушением конформации белков (в числе которых и болезнь Альцгеймера), так как она позволяет расширить наши знания о факторах, влияющих на белки, участвуют в патогенезе заболеваний, и создает предпосылки для воздействия на них для профилактики и лечения.

В последние годы теория суперпозиции ансамблей активнейшим образом исследуется с самых разных точек зрения, но одним из ключевых направлений является изучение влияния триметиламиноксида на состояние белков. Исследования *in vitro* продемонстрировали, что ТМАО играет роль «защитного фактора» — в физико-химической концепции — это означает, что он предотвращает нарушение конформации сложного белка и усиливает его агрегацию (что может вызвать некоторую путаницу: если ТМАО усиливает агрегацию патологического белка, каковым является  $\beta$ -амилоид, то с медицинской точки зрения он оказывает не протективное, а деструктивное для нервной системы влияние) [42]. Точные молекулярные механизмы данного эффекта неизвестны: есть данные и в пользу непосредственной стабилизации белковых агрегатов за счет связывания ТМАО с их

отдельными внутренними участками [43]. В другой достаточно крупной работе, изучавшей разделение белков в двух водных двухфазных системах (aqueous two-phase systems, ATPSs), различавшихся тем, что в одной присутствовал ТМАО, а в другой — нет, было показано отсутствие прямого влияния ТМАО на белки и выдвинуто предположение, что ТМАО влияет на свойства растворителя, тем самым опосредованно изменяя свойства белков [44]. В любом случае, эти биофизические исследования подтверждают возможность непосредственного участия ТМАО в нейродегенеративных процессах, связанных с нарушением строения и функционирования протеинов, и могут служить объяснением установленной прямой взаимосвязи между концентрацией ТМАО в ЦСЖ и тяжестью болезни Альцгеймера.

Помимо участия ТМАО в сложной биофизической регуляции стабильности амилоидогенного протеина, показана более сложная и обширная способность ТМАО в регуляции функционирования тау-протеина. Белок тау участвует в аксональном транспорте, регулирует функционирование рецепторов синаптической мембраны (в частности, за счет регуляции экзо/эндоцитоза N-метил-D-аспартатных рецепторов), играет важную роль в поддержании структуры нейрофибрилл [45]. Таупатии — группа разнородных заболеваний, общим признаком которых является наличие патологического фолдинга тау-протеина — к ним относятся кортико-базальная дегенерация, фронтотемпоральная деменция с паркинсонизмом, болезнь Пика, прогрессирующий надъядерный паралич. Их объединяет инициальное нарушение (например, вследствие мутации или эпигенетических нарушений) функционирования белка тау, что обуславливает накопление патологического тау, скопление «клубков» нейрофибрилл, исчезновение дендритных шипиков и нарушение ультраструктуры синапса, что является морфологическим проявлением тау [41]. Патогенетические механизмы данных заболеваний остаются неясными: есть данные в пользу повышения чувствительности нейронов к эксайтотоксичности, но нельзя исключать и прямую токсичность агрегатов тау для нервных клеток. Как было сказано ранее, для болезни Альцгеймера характерно гиперфосфорилирование тау-протеина, которое в свою очередь нарушает структуру нейропиля и может усугублять нейротоксичность амилоидных белков. Нарушение конформации тау, его патологическое свертывание может усугубляться ТМАО: биофизические исследования говорят о том, что *in vitro* ТМАО поддерживает и усиливает агрегацию патологического тау — тау относится к классу вышеупомянутых IDPs, и его конформация достаточно сильно изменчива [46]. Основная сложность заключается в изучении подобных влияний бактериальных метаболитов *in vivo*, так как вероятнее всего инициальным звеном описанных выше нейродегенеративных заболеваний являются первичные нару-

шения генов указанных белков (APP и тау-протеина), а ТМАО и ему подобные агенты только поддерживают и усиливают патологический процесс их агрегации и нейротоксичности.

### Перспективы воздействия и микробные метаболиты

Необходимо подчеркнуть, что микробиота любого биотопа, особенно толстого кишечника, крайне разнородная и многокомпонентная субстанция, каждый представитель которой может синтезировать сотни метаболитов, так или иначе влияющих на организм-хозяин. Противоречивые, иногда трагичные результаты клинических исследований различных манипуляций с микрофлорой (особенно это касается трансплантации микробиоты) наглядно доказывают, что преждевременное и необоснованное использование такой терапии может привести к печальным последствиям. Значимое участие в осуществлении регуляторной функции микробиоты принимают сотни известных веществ (разнообразные короткоцепочечные жирные кислоты, производные индола, вторичные желчные кислоты, полифенолы, витамины, производные липидов) и многие еще даже не открытые вещества [47]. Выше описаны бактерии, продуцирующие ТМАО, но весьма вероятно, что они синтезируют и другие вещества, возможно, оказывающее протективную роль в патофизиологии указанных патологий. Наиболее эффективным является подход, заключающийся в изучении микробиоты пациентов с конкретным заболеванием, выявление патологических изменений и сдвигов в соотношении разных микроорганизмов и точечная терапевтическая коррекция микрофлоры при конкретных патологических состояниях. Есть обнадеживающие результаты использования про- и пребиотиков, а также отдельные случаи успешного воздействия на микробиоту с помощью антибиотиков у больных атеросклерозом и нарушениями метаболизма глюкозы и липидов [48]. Другой перспективный подход — блокирование синтеза и реализации патологических эффектов уже изученных метаболитов. Интересны исследования вещества ресвератрола — природного полифенола, содержащегося в некоторых фруктах и ягодах (в частности, в плодах винограда). Было показано, что он обладает антиатерогенным и антиоксидантным свойством при достаточно плохой биодоступности, что позволило высказать гипотезу о его ключевых влияниях непосредственно в кишечнике [49]. Работы последних лет продемонстрировали, что ресвератрол подавляет синтез ТМАО микробиотой кишечника, повышает рост *Lactobacillus* и *Bifidobacterium*. Опосредованные ресвератролом эффекты включают регуляцию энтерогепатической рециркуляции желчных кислот и их синтеза в печени. Продemonстрировано усиление фармакологической активности гипоглике-

мического средства метформина при его применении вместе с плодами ягод, богатых полифенолами, включая ресвератрол — весьма возможно, что этот позитивный эффект обусловлен снижением влияния ТМАО, усиливающего инсулинорезистентность в жировой ткани, а также изменяющего метаболизм холестерина и триглицеридов. Есть данные в пользу прямого нейропротективного эффекта ресвератрола в профилактике и терапии болезни Альцгеймера, однако необходимые дополнительные исследования его эффективности [50]. Исходя из исследований, подтвердивших роль «западной» диеты и употребления богатых холином продуктов (красного мяса, куриных яиц), наиболее безопасной и оптимальной профилактической мерой следует считать соблюдение диеты, ограничивающей указанные продукты, а также обогащение рациона свежими фруктами и ягодами.

### Заключение и выводы

Комплексное изучение человеческой микробиоты демонстрирует факты, ставящие патологические процессы, так или иначе изменяющие ее состав или метаболизм, в один ряд с уже доказанными звеньями патогенеза многих человеческих заболеваний и, в частности, рассмотренных в данной работе атеросклероза и болезни Альцгеймера. Достаточно подробно уже описаны молекулярные механизмы влияния триметиламиноксида — одного из доказанных ключевых метаболитов микробиоты — на метаболические процессы (особенно метаболизм триглицеридов и холестерина, участие в прогрессировании инсулинорезистентности). Доказано его участие в процессах воспаления, играющих важную роль в патофизиологии атеросклероза, а также в активации сложного состояния — нейровоспаления, участвующего в процессах нейродегенерации. Помимо этого, триметиламиноксид способен влиять на конформацию и стабильность белков, участвующих в патогенезе болезни Альцгеймера и других нейродегенеративных заболеваний. С точки зрения клинической практики особенно важно, что изменение диеты и коррекция бактериального состава микрофлоры изменяет и концентрации описанных потенциально патогенных метаболитов в биологических жидкостях организма, и уже есть подтвержденные случаи успешности такого подхода в терапии некоторых хронических патологий, особенно метаболического синдрома. Такая терапия может сочетать в себе и этиологический, и патогенетический подходы: точечная антибиотикотерапия нейтрализует источник патогенного метаболита (фактически — токсина), изменение диеты снижает содержание субстратов-предшественников этих метаболитов. Помимо нацеленных на микробиоту подходов перспективным может стать разработка антагонистов описанных веществ, в том числе ТМАО. На данный момент нельзя утверждать, что

микробиота — ключевое звено патогенеза таких комплексных заболеваний, как метаболический синдром, атеросклероз и болезнь Альцгеймера, однако сам факт участия микробиоты в их развитии доказан. Для расши-

рения наших знаний о регуляторных свойствах микробиоты и для разработки подходов к профилактике и терапии, связанных с воздействием на них, необходимо продолжение исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Основы патологии заболеваний по Роббинсу и Котрану / Кумар В., Аббас А. К., Фаусто Н., Астер Дж. К.; пер. с англ.; под ред. Е. А. Коган. В 3 т. Том 1: главы 1–10. — М.: Логосфера, 2014. — 624 с. — глава 10
2. Meghil MM, Cutler CW. Oral Microbes and Mucosal Dendritic Cells, "Spark and Flame" of Local and Distant Inflammatory Diseases. *Int J Mol Sci.* 2020 Vol. 21 № 5 P:1643. doi:10.3390/ijms21051643
3. Ma J, Li H. The Role of Gut Microbiota in Atherosclerosis and Hypertension. *Front Pharmacol.* 2018 Vol. 9 P:1082. doi:10.3389/fphar.2018.01082
4. Janeiro MH, Ramírez MJ, Milagro FI, Martínez JA, Solas M. Implication of Trimethylamine N-Oxide (TMAO) in Disease: Potential Biomarker or New Therapeutic Target. *Nutrients.* 2018 Vol. 10 № 10 P:1398. doi:10.3390/nu10101398
5. Bested AC, Logan AC, Selhub EM. Intestinal microbiota, probiotics and mental health: from Metchnikoff to modern advances: Part I — autointoxication revisited. *Gut Pathog.* 2013 Vol. 5 № 1 P:5. doi: 10.1186/1757-4749-5-5
6. Kataoka K. The intestinal microbiota and its role in human health and disease. *J Med Invest.* 2016 Vol. 63 № 1–2 P:27–37. doi:10.2152/jmi.63.27
7. Del Rio D, Zimetti F, Caffarra P, et al. The Gut Microbial Metabolite Trimethylamine-N-Oxide Is Present in Human Cerebrospinal Fluid. *Nutrients.* 2017 Vol. 9 № 10 P:1053. doi:10.3390/nu9101053
8. Fu BC, Hullar MAJ, Randolph TW, et al. Associations of plasma trimethylamine N-oxide, choline, carnitine, and betaine with inflammatory and cardiometabolic risk biomarkers and the fecal microbiome in the Multiethnic Cohort Adiposity Phenotype Study. *Am J Clin Nutr.* 2020 Vol. 111 № 6 P:1226–1234. doi:10.1093/ajcn/nqaa015
9. Fennema D, Phillips IR, Shephard EA. Trimethylamine and Trimethylamine N-Oxide, a Flavin-Containing Monooxygenase 3 (FMO3)-Mediated Host-Microbiome Metabolic Axis Implicated in Health and Disease [published correction appears in *Drug Metab Dispos.* 2016 Dec Vol. 44 № 12 P:1949]. *Drug Metab Dispos.* 2016 Vol. 44 № 11 P:1839–1850. doi:10.1124/dmd.116.070615
10. Leustean AM, Ciociu M, Sava A, et al. Implications of the Intestinal Microbiota in Diagnosing the Progression of Diabetes and the Presence of Cardiovascular Complications. *J Diabetes Res.* 2018;2018:5205126. doi:10.1155/2018/5205126
11. Aragonès G, Colom-Pellicer M, Aguilar C, et al. Circulating microbiota-derived metabolites: a "liquid biopsy?". *Int J Obes (Lond).* 2020 Vol. 44 № 4 P:875–885. doi:10.1038/s41366-019-0430-0
12. Kang Y, Cai Y. Gut microbiota and obesity: implications for fecal microbiota transplantation therapy. *Hormones (Athens).* 2017 Vol. 16 № 3 P:223–234. doi:10.14310/horm.2002.1742
13. Warriar M, Shih DM, Burrows AC, et al. The TMAO-Generating Enzyme Flavin Monooxygenase 3 Is a Central Regulator of Cholesterol Balance. *Cell Rep.* 2015 Vol. 10 № 3 P:326–338. doi:10.1016/j.celrep.2014.12.036
14. Koeth RA, Wang Z, Levison BS, et al. Intestinal microbiota metabolism of L-carnitine, a nutrient in red meat, promotes atherosclerosis. *Nat Med.* 2013 Vol. 19 № 5 P:576–585. doi:10.1038/nm.3145
15. Konop M, Radkowski M, Grochowska M, Perlejewski K, Samborowska E, Ufnal M. Enalapril decreases rat plasma concentration of TMAO, a gut bacteria-derived cardiovascular marker. *Biomarkers.* 2018 Vol. 23 № 4 P:380–385. doi:10.1080/1354750X.2018.1432689
16. Li XS, Wang Z, Cajka T, et al. Untargeted metabolomics identifies trimethyllysine, a TMAO-producing nutrient precursor, as a predictor of incident cardiovascular disease risk. *JCI Insight.* 2018 Vol. 3 № 6 P: e99096. doi:10.1172/jci.insight.99096
17. Roncal C, Martínez-Aguilar E, Orbe J, et al. Trimethylamine-N-Oxide (TMAO) Predicts Cardiovascular Mortality in Peripheral Artery Disease. *Sci Rep.* 2019 Vol. 9 № 1 P:15580. doi:10.1038/s41598-019-52082-z
18. Heianza Y, Ma W, Manson JE, Rexrode KM, Qi L. Gut Microbiota Metabolites and Risk of Major Adverse Cardiovascular Disease Events and Death: A Systematic Review and Meta-Analysis of Prospective Studies. *J Am Heart Assoc.* 2017 Vol. 6 № 7 P: e004947. doi:10.1161/JAHA.116.004947
19. Ke Y, Li D, Zhao M, et al. Gut flora-dependent metabolite Trimethylamine-N-oxide accelerates endothelial cell senescence and vascular aging through oxidative stress [published correction appears in *Free Radic Biol Med.* 2018 Dec Vol. 129 P:608–610]. *Free Radic Biol Med.* 2018 Vol. 116 P:88–100. doi:10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.007
20. Singh GB, Zhang Y, Boini KM, Koka S. High Mobility Group Box 1 Mediates TMAO-Induced Endothelial Dysfunction. *Int J Mol Sci.* 2019 Vol. 20 № 14 P:3570. doi:10.3390/ijms20143570
21. Seldin MM, Meng Y, Qi H, et al. Trimethylamine N-Oxide Promotes Vascular Inflammation Through Signaling of Mitogen-Activated Protein Kinase and Nuclear Factor-κB. *J Am Heart Assoc.* 2016 Vol. 5 № 2 P: e002767. doi:10.1161/JAHA.115.002767
22. Geng J, Yang C, Wang B, et al. Trimethylamine N-oxide promotes atherosclerosis via CD36-dependent MAPK/JNK pathway. *Biomed Pharmacother.* 2018 Vol. 97 P:941–947. doi:10.1016/j.biopha.2017.11.016
23. Canyelles M, Tondo M, Cedó L, Farràs M, Escolà-Gil JC, Blanco-Vaca F. Trimethylamine N-Oxide: A Link among Diet, Gut Microbiota, Gene Regulation of Liver and Intestine Cholesterol Homeostasis and HDL Function. *Int J Mol Sci.* 2018 Vol. 19 № 10 P:3228. doi:10.3390/ijms19103228

24. He H, Lian X, Tang Z. Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban. 2017 Vol.42 № 8 P:986–990. doi:10.11817/j.issn.1672-7347.2017.08.018
25. Koeth RA, Wang Z, Levison BS, et al. Intestinal microbiota metabolism of L-carnitine, a nutrient in red meat, promotes atherosclerosis. Nat Med. 2013 Vol.19 № 5 P:576–585. doi:10.1038/nm.3145
26. Farhangi MA, Vajdi M. Novel findings of the association between gut microbiota-derived metabolite trimethylamine N-oxide and inflammation: results from a systematic review and dose-response meta-analysis. Crit Rev Food Sci Nutr. 2020 P:1–23. doi:10.1080/10408398.2020.1770199
27. Li XS, Obeid S, Klingenberg R, et al. Gut microbiota-dependent trimethylamine N-oxide in acute coronary syndromes: a prognostic marker for incident cardiovascular events beyond traditional risk factors. Eur Heart J. 2017 Vol.38 № 11 P:814–824. doi:10.1093/eurheartj/ehw582
28. Schiattarella GG, Sannino A, Toscano E, et al. Gut microbe-generated metabolite trimethylamine-N-oxide as cardiovascular risk biomarker: a systematic review and dose-response meta-analysis. Eur Heart J. 2017 Vol.38 № 39 P:2948–2956. doi:10.1093/eurheartj/ehx342
29. Zhu W, Gregory JC, Org E, et al. Gut Microbial Metabolite TMAO Enhances Platelet Hyperreactivity and Thrombosis Risk. Cell. 2016 Vol.165 № 1 P:111–124. doi:10.1016/j.cell.2016.02.011
30. Boini KM, Hussain T, Li PL, Koka S. Trimethylamine-N-Oxide Instigates NLRP3 Inflammasome Activation and Endothelial Dysfunction. Cell Physiol Biochem. 2017 Vol.44 № 1 P:152–162. doi:10.1159/000484623
31. Chen X, Li HY, Hu XM, Zhang Y, Zhang SY. Current understanding of gut microbiota alterations and related therapeutic intervention strategies in heart failure. Chin Med J (Engl). 2019 Vol.132 № 15 P:1843–1855. doi:10.1097/CM9.0000000000000330
32. Jin B, Ji F, Zuo A, et al. Destructive Role of TMAO in T-Tubule and Excitation-Contraction Coupling in the Adult Cardiomyocytes. Int Heart J. 2020 Vol. 61 № 2 P:355–363. doi:10.1536/ihj.19-372
33. Alzheimer's disease facts and figures [published online ahead of print, 2020 Mar 10]. Alzheimers Dement. 2020 10.1002/alz.12068. doi:10.1002/alz.12068
34. Zheng X, Zhang X, Kang A, Ran C, Wang G, Hao H. Thinking outside the brain for cognitive improvement: Is peripheral immunomodulation on the way?. Neuropharmacology. 2015 Vol.96 Pt A P:94–104. doi:10.1016/j.neuropharm.2014.06.020
35. Sochocka M, Donskow-Lysoniewska K, Diniz BS, Kurpas D, Brzozowska E, Leszek J. The Gut Microbiome Alterations and Inflammation-Driven Pathogenesis of Alzheimer's Disease—a Critical Review. Mol Neurobiol. 2019 Vol.56 № 3 P:1841–1851. doi:10.1007/s12035-018-1188-4
36. Zhu S, Jiang Y, Xu K, et al. The progress of gut microbiome research related to brain disorders. J Neuroinflammation. 2020 Vol. 17 № 1 P:25. doi:10.1186/s12974-020-1705-z
37. Xu R, Wang Q. Towards understanding brain-gut-microbiome connections in Alzheimer's disease. BMC Syst Biol. 2016;10 Suppl 3(Suppl 3): P: 63. doi:10.1186/s12918-016-0307-y
38. Vogt NM, Romano KA, Darst BF, et al. The gut microbiota-derived metabolite trimethylamine N-oxide is elevated in Alzheimer's disease. Alzheimers Res Ther. 2018 Vol.10 № 1 P:124. doi:10.1186/s13195-018-0451-2
39. Stone JG, Casadesu G, Gustaw-Rothenberg K, et al. Frontiers in Alzheimer's disease therapeutics. Ther Adv Chronic Dis. 2011 Vol. 2 № 1 P:9–23. doi:10.1177/2040622310382817
40. Martinelli AHS, Lopes FC, John EBO, Carlini CR, Ligabue-Braun R. Modulation of Disordered Proteins with a Focus on Neurodegenerative Diseases and Other Pathologies. Int J Mol Sci. 2019 Vol. 20 № 6 P: 1322 doi:10.3390/ijms20061322
41. Levine ZA, Larini L, LaPointe NE, Feinstein SC, Shea JE. Regulation and aggregation of intrinsically disordered peptides. Proc Natl Acad Sci U S A. 2015 Vol. 112 № 9 P: 2758–2763. doi:10.1073/pnas.1418155112
42. Muttathukattil AN, Reddy G. Osmolyte Effects on the Growth of Amyloid Fibrils. J Phys Chem B. 2016 Vol. 120 № 42 P: 10979–10989. doi:10.1021/acs.jpcc.6b09215
43. Hong J, Xiong S. TMAO-Protein Preferential Interaction Profile Determines TMAO's Conditional In Vivo Compatibility. Biophys J. 2016 Vol. 111 № 9 P: 1866–1875. doi:10.1016/j.bpj.2016.09.035
44. da Silva NR, Ferreira LA, Teixeira JA, Uversky VN, Zaslavsky BY. Effects of sodium chloride and sodium perchlorate on properties and partition behavior of solutes in aqueous dextran-polyethylene glycol and polyethylene glycol-sodium sulfate two-phase systems. J Chromatogr A. 2019 Vol. 1583 P: 28–38. doi:10.1016/j.chroma.2018.11.015
45. Jadhav, Santosh et al. "Tau-mediated synaptic damage in Alzheimer's disease." Translational neuroscience Vol. 6 № 1 P: 214–226. 23 Oct. 2015, doi:10.1515/tnsci-2015-0023
46. Eschmann NA, Do TD, LaPointe NE, et al. Tau Aggregation Propensity Engrained in Its Solution State. J Phys Chem B. 2015 Vol. 119 № 45 P:14421–14432. doi:10.1021/acs.jpcc.5b08092
47. Cresci, Gail A, and Emmy Bawden. "Gut Microbiome: What We Do and Don't Know." Nutrition in clinical practice: official publication of the American Society for Parenteral and Enteral Nutrition 2015 Vol. 30 № 6 P: 734–746. doi:10.1177/0884533615609899
48. Nath, Arijit et al. "Biological Activities of Lactose-Based Prebiotics and Symbiosis with Probiotics on Controlling Osteoporosis, Blood-Lipid and Glucose Levels." Medicina (Kaunas, Lithuania) 2018 Vol. 54 № 6 P: 98. 3 doi:10.3390/medicina54060098
49. Chen, Ming-liang et al. "Resveratrol Attenuates Trimethylamine-N-Oxide (TMAO)-Induced Atherosclerosis by Regulating TMAO Synthesis and Bile Acid Metabolism via Remodeling of the Gut Microbiota." mBio 2016 Vol. 7 № 2 P: e02210–15. doi:10.1128/mBio.02210-15
50. Yan, Yan et al. "Research Progress on Alzheimer's Disease and Resveratrol." Neurochemical research 2020 Vol. 45 № 5 P: 989–1006. doi:10.1007/s11064-020-03007-0

# ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗНАНИЙ РОДИТЕЛЕЙ И ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА ПО ВОПРОСАМ ГИГИЕНЫ ПОЛОСТИ РТА

## ASSESSMENT OF THE LEVEL OF KNOWLEDGE OF PARENTS AND CHILDREN OF PRE-SCHOOL AGE ON ORAL HYGIENE

V. Zhurbenko

*Summary.* Insufficient awareness of the population on oral hygiene issues leads to various dental diseases, in particular caries and periodontal tissue diseases.

One of the most important tasks of a pediatric dentist is the hygienic training and education of preschool children in order to form their hygienic skills and create conditions for their development into a need. And in this they should be helped by their parents, who should not only call for correct behavior, but also be real role models.

This article examines the level of knowledge of parents and preschool children on oral hygiene by questionnaire.

*Keywords:* children, questionnaire, oral hygiene, questionnaire, parents.

**Журбенко Вероника Александровна**

ФГБОУ ВО «Курский Государственный Медицинский  
Университет» Минздрава России  
prepvermed@mail.ru

*Аннотация.* Недостаточная осведомленность населения, по вопросам гигиены полости рта, приводит к различным стоматологическим заболеваниям, в частности кариесу и заболеваниям тканей пародонта.

Одной из важнейших задач детского стоматолога является гигиеническое обучение и воспитание детей дошкольного возраста с целью сформировать у них гигиенические умения, навыки и создать условия для перерастания их в потребность. И в этом им должны помогать родители, которые должны не только призывать к правильному поведению, но являться настоящими образцами для подражания.

В данной статье исследован уровень знаний родителей и детей дошкольного возраста по вопросам гигиены полости рта методом анкетирования.

*Ключевые слова:* дети, анкета, гигиена полости рта, анкетирование, родители.

## Введение

**П**атология зубочелюстной системы является одной из самой распространённой, занимая третье место (30–35% по обращаемости) среди общей заболеваемости населения Российской Федерации.

Самыми распространёнными стоматологическими заболеваниями в мире являются заболевания тканей пародонта и кариес зубов, которому особенно подвержены дети.

Как известно, ведущим звеном в предупреждении развития стоматологической патологии, является гигиена полости рта. Обучение гигиене полости рта должно прививаться ребенку с раннего возраста [3].

Для этого нужно обеспечить комплексную работу родителей, педиатра и врача стоматолога, так как гигиена полости рта не возможна без правильного обучения родителей и их детей. Дети дошкольного и школьного возраста являются особенно важной возрастной группой

в отношении усвоения гигиенических навыков, формирования автоматизма действий и установки ухода за полостью рта на всю жизнь [1].

Целью исследования явилось определение уровня знаний по вопросам гигиены полости рта у родителей и детей дошкольного возраста.

**Материалы и методы.** Для оценки уровня знаний гигиены полости рта было проведено анкетирование детей и родителей с помощью специально разработанной анкеты, которая включала вопросы об оценке состояния зубов и десен, количестве и причине визита к стоматологу, знании и применении гигиенических средств полости рта, характере, кратности питания.

Перед анкетированием было проведено стоматологическое обследование 115 детей в возрасте от 3 до 7 лет, которое включало: внешний осмотр, осмотр полости рта с целью определения интенсивности кариеса и риска его развития. Кроме того, обращали внимание на состояние десны, на наличие заболеваний тканей па-

родонта. Состояние гигиены полости рта у детей оценивали с использованием упрощенного индекса гигиены ОНІ-S.

Кроме того, были проведены уроки здоровья, как для детей, так и для их родителей. Детям в игровой форме рассказывали о строении зуба, о видовой принадлежности зубов, о важности соблюдения гигиены полости рта. У родителей с помощью беседы было сформировано представление о правильной гигиене полости рта, о свойствах продуктов, влияющих на состояние зубочелюстной системы, кроме этого проведено обучение их технике чистки зубов и подборе дополнительных средств гигиены полости рта.

### Результаты исследования и обсуждения

Дети были поделены на возрастные группы: 1-я группа — дети от 3 до 4 лет (25 человека), 2-я группа — дети от 4 до 5 лет (25 детей), 3-я группа — дети от 5 до 6 лет (32 детей), 4-я группа — дети от 6 до 7 лет (35 детей).

Среди обследованных детей было 45 (39%) мальчиков, девочек — 70 (61%).

Среди анкетированных родителей были 97 женщин и 18 мужчин.

Большинство родителей имели высшее образование (85%), остальные — среднее образование (15%).

Регулярное посещение стоматолога, своевременное лечение, обучение индивидуальной гигиене и регулярные профилактические мероприятия с детского возраста во многом определяют здоровье ребёнка в будущем [5]. Анализируя причины посещения врача — стоматолога, было выявлено, что большинство респондентов посещают стоматолога по необходимости (75%) и лишь 7% — один раз в 3 месяца, 8% — два раза в год, 10% — один раз в год. В большинстве случаев основной целью посещения врача стоматолога стало лечение зубов, 3% обращались по поводу заболеваний слизистой оболочки полости рта у детей.

Анкетирование показало, что в 1 группе родители чистят зубы детям 2 раза в день (55%), один раз в день — 23%, нерегулярно чистят зубы 18%, и 4% родителей отметили, что вообще не чистят зубы ребёнку. Во 2 группе 51% родителей чистят зубы детям 2 раза в день, 1 раз в день — 42%, нерегулярно — 7%. В 3 группе 53% родителей чистят зубы детям 2 раза в день, 1 раз в день — 37%, нерегулярно — 10%. В 4 группе 75% родителей отметили, что дети сами чистят зубы 2 раза в день, 1 раз в день — 25%.

До 6 лет родители должны контролировать чистку зубов детей, а уже с 6 лет ребенок должен осуществлять чистку зубов самостоятельно, но под присмотром родителей. Из анкетирования было выявлено, что в возрасте от 3 до 4 лет 37% — зубы ребёнку чистит мама, 57% — чистят зубы вместе, и 6% — детей чистят зубы самостоятельно. В возрасте от 4 до 5 лет 23% родителей чистят зубы ребёнку, 67% — чистят зубы вместе, 10% — детей чистят зубы самостоятельно. В возрасте от 5 до 6 лет 5% — родителей чистят зубы ребёнку, 71% — чистят зубы вместе, 24% — детей чистят самостоятельно. В 6–7 летнем возрасте большинство детей сами чистили зубы и лишь 7% родители.

Подавляющая часть родителей тратят на чистку зубов в среднем по 2 минуты, при этом 45% анкетированных ответили, что проводят эту процедуру после завтрака.

Хорошая гигиена полости рта является важным компонентом профилактики стоматологических заболеваний, поэтому выбор зубной щётки и пасты, позволяющей максимально эффективно очистить поверхности зубов, имеет большое значение. В настоящее время на рынке средств гигиены для полости рта представлено большое количество разнообразных мануальных зубных щёток, отличающихся друг от друга по форме и размеру, степени жёсткости щетины, количеством щетинок рабочей части и т.д. Широкий ассортимент зубных щёток, представленный различными производителями с одной стороны, расширяет возможности выбора зубной щётки, а с другой стороны усложняет его. Таким образом, возникает проблема, обусловленная сложностью выбора зубной щётки при наличии широкого спектра предложений.

Для повышения эффективности гигиены полости рта важно выбирать зубную пасту соответственно возрасту и стоматологическому статусу. Большинство родителей (97%) указали, что покупают детскую зубную пасту, обращая при этом внимание на состав. 3% отметили, что ребенок пользуется пастой, которой чистят зубы и взрослые. Анализируя ответы на вопрос «Чем обусловлен ваш выбор зубной щетки и пасты?» было замечено, что большинство анкетированных выбирают зубную щетку и пасту исходя от цены, при этом в 91% случаев приобретается в магазинах, 6% — в аптеках. 25% обращают внимание на дизайн и цвет щетки.

Одним из важных критериев хорошей гигиены полости рта является своевременная замена зубной щетки. Старая зубная щётка имеет нарушенную структуру и форму, что ухудшает её функциональные и гигиенические качества. Срок службы зубной щетки указали правильно 89% опрошенных, 11% указали срок службы щетки от полугода до года. 75% родителей указали, что

их дети пользуются зубными щетками средней степени жесткости, мягкими — 25%.

Информацию о гигиене полости рта большинство родителей получили от врача стоматолога. В 1 группе 55% родителей информировал врач — стоматолог, 35% — родителей получили информацию из интернета, а 10% родителей получили информацию от родственников или знакомых. Во 2 группе 61% родителей получили информацию от врача-стоматолога, 23% — из интернета, 16% — от родственников. В 3 группе 75% родителей получили информацию от врача — стоматолога, 17% — из интернета, 8% — информация получена от родственников или знакомых. В 4 группе 83% — от врача — стоматолога, 7% — из интернета, 5% — от родственников или знакомых, 5% — из средств массовой информации.

Немаловажным звеном в профилактике кариеса является рацион питания [3]. Как известно, несбаланси-

рованное питание с преобладанием легкоусвояемых углеводов, сахаров в рационе ребенка отрицательно сказывается на состоянии полости рта. По данным анкетирования, 31% детей каждый день употребляют свежие фрукты, печенье, торты и пирожное — 43,5%, конфеты и леденцы — 55%. Сладкие напитки употребляют 65,7% детей, при этом каждый день 17,4% пьют газированные напитки.

Выводы. Многочисленные исследования доказывают, что развитие основных стоматологических заболеваний можно предупредить, а для этого необходимы определенные знания и умения, которые, в первую очередь, должны касаться гигиенического ухода за полостью рта, так как именно зубные отложения являются ведущим фактором возникновения кариеса и заболеваний пародонта [4]. Таким образом, прививать навыки ухода за полостью рта необходимо с детского возраста и главными звеньями в этом будут являться усилия врача — стоматолога и родителей [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лосик И. М. Оценка уровня санитарных знаний родителей по уходу за полостью рта детей дошкольного возраста // Современная стоматология. — 2018. — № 1. — С. 76–79.
2. Детская терапевтическая стоматология. Национальное руководство / Под ред. В. К. Леонтьева, Л. П. Кисельниковой. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. — 952 с.
3. Журбенко, В.А., Причины развития кариеса у детей раннего возраста / В. А. Журбенко, Э. С. Саакян // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 11–4. — С. 578–579.
4. Старовойтова, Е. Л. Кариес временных зубов и его осложнения у детей как социально значимое инфекционное заболевание / Н. В. Стрельникова, А. А. Антонова, Е. Л. Старовойтова и др. // Якутский Медицинский Журнал. — Якутск. — 2018. — № 1. — С. 78–83.
5. Юсупалиева К. Б. К. Оптимизация мероприятий, направленных на профилактику кариеса у детей // Вопросы науки и образования. — 2017. — № 8 (9). — С. 35–38.

© Журбенко Вероника Александровна (prepermed@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## К 30-ЛЕТИЮ ВЫПОЛНЕНИЯ ПЕРВОЙ ЛАПАРОСКОПИЧЕСКОЙ ХОЛЕЦИСТЭКТОМИИ В РОССИИ: НАЧАЛО СТАНОВЛЕНИЯ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

### TO THE 30-TH ANNIVERSARY OF THE FIRST LAPAROSCOPIC CHOLECYSTECTOMY IN RUSSIA: THE BEGINNING OF AN DEVELOPMENT OF AN EVOLUTIONARY TECHNOLOGY

**A. Karsanov  
S. Maskin  
T. Derbentseva  
O. Remizov**

*Summary.* The current year for all surgeons in the Russian Federation is significant in that exactly 30 years ago, laparoscopic cholecystectomy (LCE) was performed for the first time in our country. The medical significance of this event lies in the fact that a huge number of patients with gallstone disease became possible to radically help in a minimally invasive way, thereby providing a clinical result, coupled with a low risk of unwanted consequences of treatment. In the process of developing the operating technology, surgeons, from the initial practice of treating patients with chronic calculous cholecystitis, extended the experience of performing LCE to cases of acute cholecystitis, having achieved the greatest positive effect in patients with complicated somatic status.

*Keywords:* surgery, laparoscopic cholecystectomy, cholelithiasis, acute cholecystitis.

**Карсанов Алан Мухарбекович**

К.м.н., доцент, ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская государственная медицинская академия»  
(г. Владикавказ)  
karsan@inbox.ru

**Маскин Сергей Сергеевич**

Д.м.н., профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет»  
(г. Волгоград)  
maskins@bk.ru

**Дербентцева Татьяна Викторовна**

К.м.н., ассистент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет»  
(г. Волгоград)

TVDerbentseva@volgmed.ru

**Ремизов Олег Валерьевич**

Д.м.н., ректор, ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская государственная медицинская академия»  
(г. Владикавказ)  
oleg\_remizov@mail.ru

*Аннотация.* Текущий год для всех хирургов Российской Федерации знаменателен тем, что ровно 30 лет назад в нашей стране была впервые выполнена лапароскопическая холецистэктомия (ЛХЭ). Медицинское значение этого события заключается в том, что огромному числу пациентов с желчнокаменной болезнью стало возможным радикально помочь минимально инвазивным способом, обеспечив, тем самым, клинический результат вкпе с низким риском нежелательных последствий лечения. В процессе разработки технологии оперирования хирурги, от первоначальной практики лечения пациентов с хроническим калькулезным холециститом, распространили опыт выполнения ЛХЭ на случаи острого холецистита, добившись наибольшего положительного эффекта у пациентов с осложненным соматическим статусом.

*Ключевые слова:* хирургия, лапароскопическая холецистэктомия, желчнокаменная болезнь, острый холецистит.

**В** начале 2021 года исполняется 30 лет с того исторического момента, когда в Российской Федерации была впервые успешно выполнена лапароскопическая холецистэктомия (ЛХЭ) по поводу хронического калькулезного холецистита. Отдавая дань уважения первопроходцам метода Ю.И. Галлингеру, А.Д. Тимошину, А.С. Балалыкину и их соратникам, считаем своим долгом отразить в данной статье ту профессиональную ситуацию с лечением пациентов осложненной желчно-

каменной болезнью (ЖКБ), которая сложилась в мире и в нашей стране на тот исторический момент.

К моменту открытия и внедрения лапароскопического способа лечения ЖКБ в мировой хирургии сложилась вполне конкретная, близкая к стагнации и практически тупиковая ситуация. Но начать следует с того, что на протяжении всей истории медицины проблема лечения ЖКБ, а особенно ее осложнений, была и остается

одной из актуальных задач современной хирургии. ЖКБ тогда и сейчас является одним из самых распространенных заболеваний. По частоте распространенности в общемировой популяции ЖКБ может уступить, разве что только атеросклерозу [1]. ЖКБ страдает около 10% населения мира, помимо этого за каждое десятилетие процент заболеваемости удваивается [2].

В странах Европы и США заболеваемость ЖКБ колебалась от 7 до 20% от всего населения. Среди лиц старше 40 лет она достигала 40%, а это каждая пятая женщина и каждый десятый мужчина [3]. 22 миллиона американцев имеют конкременты в желчном пузыре, по поводу чего ежегодно в США производилось 600–700 тысяч холецистэктомий, с летальностью 0,17–1,7% [4]. В тот период в мире ежегодно производилось более 2,5 млн. операций на желчевыводящих путях [4]. В настоящее время, по данным Всемирного союза хирургов в мире выполняется более 1,5 млн. холецистэктомий. В нашей стране больные с литогенной патологией желчных путей прочно занимали одно из первых мест в хирургических стационарах [2, 5]. Достаточно сказать, что в России ежегодно оперировались до 120 тыс. пациентов с разными формами холецистита. В наше время, число ежегодно выполняемых холецистэктомий превышает 150 тысяч [5].

После внедрения в практику новейшего высокотехнологического эндоскопического оборудования в середине 80-х годов наступила новая эра хирургии ЖКБ — родилась ЛХЭ. Выполненная в сентябре 1985 года немецким хирургом E. Muhe первая холецистэктомия через лапароскоп и его сообщение в апреле 1986 г. озаглавленное «Die erste cholecystektomie durch das laparoskop» остались незамеченными хирургами. Это была первая публикация, где использован термин «лапароскопическая холецистэктомия» хотя автор применил технику, отличающуюся от используемой в настоящее время [6].

В июне 1987 г. в Лионе Ph. Mouret и в 1988 году F. Dubois [7] выполнили ЛХЭ в современном варианте, что дало основание назвать это событие «очередной французской революцией». ЛХЭ распространяется в Европе усилиями Perissat, Mouiel, Cuschieri, Becker, Buess, Trede, Troide и др.

После первой операции, проведенной в США J. V. McKernan et W. Saye [8], в октябре 1988 года первую лазерную ЛХЭ выполнили E. Reddick и D. Olsen, они же разработали методику интраоперационной холангиографии [9]. Это считается стартом бурного развития лапароскопической методики в общей хирургии.

Первая ЛХЭ в нашей стране произведена Ю.И. Галлингером и А.Д. Тимошиным 11 января 1991 года в ВНЦХ [10], и доложена на научной конференции в Курске

(1991). Там же сообщил о успешной ЛХЭ по поводу хронического холецистита А.С. Балалыкин.

Ни одна операция за всю историю хирургии не имела столь бурного развития. К началу 90-х годов ЛХЭ заняла ведущее место в лечении ЖКБ в мире. Предложены и применяются 2 основные технические методики выполнения ЛХЭ: «французская» и «американская». Первая попытка сравнения двух техник была отражена в работе J. Perissat, 1993 [11], который отмечает лучшую экспозицию треугольника Calot при использовании «французской».

Хотя техника ЛХЭ, выполняемая в плановом порядке, была хорошо разработана, среди хирургов сохранялись ряд разночтений. Так J. J. Jakimowicz (1994) указывает, что важнейшими условиями безопасного удаления ЖП являются оптимальная экспозиция, осторожная препаровка, адекватная визуализация и ограниченное использование электрокоагуляции. Вместе с тем подавляющее большинство хирургов используют монополярную коагуляцию, как основной способ диссекции и гемостаза.

Различия в методиках касаются положения больного на операционном столе, расположения операционной бригады и точек доступа. Сторонники «французского» и «американского» считали оба способа эффективными, и выбор должен определяться школой и навыком хирурга. Исследовав особенности подготовки, характер осложнений, пути их предотвращения и коррекции при ЛХЭ, большинство ученых уже на раннем этапе внедрения новой технологии заключают, что 90% всех холецистэктомий выполнимы при помощи современной лапароскопической техники. По данным В.Д. Федорова и др., (1994) ЛХЭ удалось выполнить у 99% больных хроническим холециститом.

С сожалением следует признать, растущее число и расширяющийся диапазон оперативных вмешательств не сопровождались ожидаемым снижением числа неудовлетворительных результатов и летальности [12–14]. В первую очередь это относилось к результатам лечения больных с осложненной ЖКБ, к пациентам старших возрастных групп, имеющих тяжелую сопутствующую патологию [15, 16]. Даже спустя десятилетия после внедрения в общемировую практику ЛХЭ, проблемы лечения пациентов с ЖКБ остаются. Прежде всего следует сказать о 5-кратно превышающей частоте повреждения внепеченочных желчных протоков при выполнении ЛХЭ по сравнению с открытой операцией [5, 13, 14, 17].

Острый холецистит (ОХ) — одно из наиболее распространенных хирургических заболеваний. Нестандартизованный по возрасту показатель заболеваемости ОХ в Российской Федерации в 2018 г., по данным главного хирурга РФ А.Ш. Ревитшвили, составил 139,0 на 100 тыс. населения (162 523 случая) [18]. В настоящее время в структуре

острых хирургических заболеваний живота ОХ по частоте уступает только острому аппендициту [5, 18], составляя 24,8% от общего числа больных, госпитализируемых по ургентным показаниям [18, 19]. Однако особенно важно, что у больных пожилого и старческого возраста ОХ является самым частым острым хирургическим заболеванием.

Тактика лечения ОХ обсуждалась в те годы на различных форумах хирургов в периодической печати и сборниках научных трудов, что демонстрирует насущный интерес к данной проблеме, в первую очередь обусловленный неудовлетворенностью результатами лечения. Важность кардинального решения проблемы ОХ наиболее наглядно демонстрируют цифры послеоперационной летальности, которая на тот момент составляли 4,2–9% [20], а при присоединившихся холангите, механической желтухе, а также у пациентов старших возрастных групп с сопутствующей патологией достигает 12–23% и более [21]. Основополагающим в данном случае является тот факт, что у больных преклонного возраста значительно чаще развиваются деструктивные формы ОХ, сопровождающегося всеми видами осложнений и высокой летальностью [22]. Для сравнения показатели послеоперационной летальности при хроническом холецистите не превышают 0,09–0,5% [5, 9, 13].

Широкое распространение ЛХЭ получила в связи с повсеместной неудовлетворенностью результатами лапаротомных операций. В связи с этим среди преимуществ ЛХЭ выделялись: минимальная травматичность и минимальная кровопотеря, низкий уровень послеоперационных осложнений, быстрое восстановление практического здоровья пациентов, защита больного и медперсонала от внутрибольничной инфекции и СПИ-Да, сокращение сроков лечения. Наряду с очевидными преимуществами ЛХЭ имеет негативные стороны: напряженный карбоксиперитонеум, плоское изображение, использование электротермокаутеризации и увеличение вероятности электро- и термотравмы.

Показания к ЛХЭ претерпели существенную трансформацию и в целом четко сформулированы: камненосительство, калькулезный холецистит, холестероз, полипоз и другие доброкачественные опухоли желчного пузыря (ЖП), ОХ в сроки до 72 часов от начала заболевания. Достаточно часто показания к операции зависят от квалификации хирурга и состояния больного.

В основном хирурги, так же как и 30 лет назад, выделяют абсолютные противопоказания к ЛХЭ: общие противопоказания к проведению лапароскопической операций, рак ЖП, плотный паравезикальный воспалительный инфильтрат, исключающий надежную визуализацию и диссекцию элементов треугольника Calot, третий триместр беременности. Отдельные авторы относят к ним также: общий перитонит, острый холецистопанкреатит, билио-

дигестивные и билиобилиарные свищи, врожденные аномалии ЖП, хроническую дуоденальную непроходимость.

Относительными противопоказаниями первоначально считали: холедохолитиаз, механическую желтуху, холангит, острый панкреатит, ОХ при сроках более 72 часов от начала заболевания, синдром Мириizzi, склероатрофический ЖП, цирроз печени, портальную гипертензию, коагулопатии, перенесенные операции на органах верхнего этажа брюшной полости, псевдотуморозный панкреатит, язвенную болезнь, невправимые вентральные грыжи в эпи- и мезогастрии, инфицирование передней брюшной стенки.

В. И. Грясов и соавт., не считая противопоказаниями, все же выделяли в качестве факторов риска: наличие в анамнезе механической желтухи и лихорадки, перенесенные абдоминальные операции, ожирение III–IV ст., гепатит, цирроз печени, язвенную болезнь двенадцатиперстной кишки, толщину стенки ЖП свыше 4 мм, склероатрофический желчный пузырь, аэробилию [23].

Попытки прогнозирования вероятности успешного удаления ЖП лапароскопическим способом приводили к поиску различных триггеров интраоперационных осложнений. Так, по мнению Н. Gai и Н. Thiele [24], противопоказаниями к ЛХЭ при ОХ являются данные УЗИ: тугое заполнение конкрементами ЖП, склероатрофический процесс стенок ЖП, увеличение толщины его стенок более 4 мм, наличие плотных спаек в подпеченочном пространстве. Использование этих критериев в 98,5% случаев обеспечивает быстроту и легкость ЛХЭ при ОХ.

Напротив М. Shietroma и соавт. (1997) считали лапароскопию при ОХ — главным образом диагностической процедурой, призванной выбрать оптимальный метод радикального лечения, т.е. своевременно предпочесть открытую холецистэктомия, позволяющую избежать интраоперационных повреждений билиарного тракта. Схожего мнения придерживаются А. Е. Борисов и соавт. (1998), применяя лапароскопию в качестве первого декомпрессивного этапа в лечении ОХ.

R. J. Fitzgibbons и др. 1996 [25] на большом материале пришли к выводу, что корреляция патоморфологического диагноза ОХ с интраоперационной картиной при ЛХЭ значительно более низкая, чем с данными предоперационного обследования, что не мешает успешно выполнять ЛХЭ.

Таким образом, с момента внедрения технологии ЛХЭ и по наши дни хирурги не оставляют попыток повысить эффективность, качество и безопасность хирургического лечения пациентов с осложненной ЖКБ. В ходе эволюции метода и накопления опыта хирургами противопоказания из разряда абсолютных переходили в от-

носительные и, более того, вообще перестали считаться таковыми. Это в первую очередь относится к лечению пациентов с ОХ. Со временем алгоритм применения ЛХЭ при осложненной ЖКБ был расширен. В настоящее время многие авторы рекомендуют начинать лапароскопически любую операцию на желчных путях.

Другими ключевыми направлениями научного поиска является стандартизация методики ЛХЭ для более эффективного преодоления кривой обучения начинающих хирургов и создание условий безопасного оперирования, минимизирующих риск повреждения желчных протоков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Эндокринология. Национальное руководство. Под ред. И. И. Дедова, Г. А. Мельниченко. ГЭОТАР-Медиа, М., 2008. — 587 с.
2. Бурцева М. А., Яшно А. А., Коновалова О. Г., Ханина Ю. С. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: естественные и технические науки. — 2020. — № 8. — С. 147–151.
3. Farthing M., Roberts S. E., Samuel D. G. et al. Survey of digestive health across Europe: Final report. Part 1: The burden of gastrointestinal diseases and the organisation and delivery of gastroenterology services across Europe // *United European Gastroenterol J.* — 2014. — Vol.2. № 6. — P. 539–543.
4. Shabanzadeh D. M. New determinants for gallstone disease? // *Dan. Med. J.* — 2018. — Vol.65. № 2. — B5438.
5. Хирургическая помощь в Российской Федерации. Информационно-аналитический сборник / Под ред. А. Ш. Ревивили. — М.: ФГБУ «НМИЦ хирургии им. А. В. Вишневского», 2019. — 136 с.
6. Muhe E. Die erste Cholecystektomie durch das Laparoscop // *Arch. Klin. Chir.* — 1986. — Vol.2.369. — P. 804. <https://doi.org/10.1007/BF01274615>.
7. Zucker K. A., Reddick E. J., Bailey R. W. et al. Surgical Laparoscopy // *Quality Medical Publishing. St. Louis, Missouri*, 1991. 359p.
8. Mc Kernan J. V. Laparoscopic cholecystectomy // *Am. Surg.* — 1991. — Vol.57. № 5. — P. 309–312.
9. Reddick E. J., Olsen D. O. Laparoscopic cholecystectomy, a comparison with mini-lap cholecystectomy // *Surg. Endosc.* — 1989. — Vol.3. № 3. — P. 131–133.
10. Галлингер Ю. И., Тимошин А. Д., Мовчун А. А. и др. Лапароскопическая холецистэктомия // *Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова.* — 1991. — № 6. — С. 130–131.
11. Perissat J. Laparoscopic cholecystectomy: the European experience // *Am. J. Surg.* — 1993. — Vol. 165. № 4. — P. 444–449.
12. Сажин В. П., Карсанов А. М., Сажин А. В. Лапароскопическая холецистэктомия у больных с ожирением // *Эндоскоп. хирургия.* — 1999. — № 2. — С. 54–55.
13. Сажин В. П., Сажин И. В., Подъяблонская И. А., Карлов Д. И., Нуждихин А. В., Айвазян С. А. Этиология «сложных» лапароскопических холецистэктомий // *Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова.* — 2016. — № 1. — С. 61–66.
14. Федоров И. В., Чугунов А. Н., Славин Л. Е., Славин Д. А., Федоров В. И. К 30-летию внедрения лапароскопической холецистэктомии: проблемы остаются // *Казанский медицинский журнал.* — 2019. — № 3. — С. 537–66.
15. Shea J. A., Healey M. J., Berlin J. A. et al. Mortality and complications associated with laparoscopic cholecystectomy. A meta-analysis // *Ann. Surg.* 1996; 224: 609–620. — 1996. — Vol.224. № 5. — P. 609–620.
16. Климович И. Н., Маскин С. С., Дубровин И. А., Карсанов А. М., Дербенцева Т. В. Эндовидеохирургия в диагностике и лечении послеоперационного перитонита // *Вестник хирургии им. И. И. Грекова.* — 2015. — № 4. — С. 113–116.
17. Емельянов С. И. Современное состояние и перспективы развития эндоскопической хирургии // *Тихоокеанский медицинский журнал.* — 2009. — № 2. — С. 7–10.
18. Ревивили А. Ш., Сажин В. П., Оловянный В. Е., Захарова М. А. Современные тенденции в неотложной абдоминальной хирургии в Российской Федерации // *Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова.* — 2020. — № 7. — С. 6–11.
19. Кульчиев А. А., Сланов А. В. Острый панкреатит. — Владикавказ: Издательско-полиграфическое предприятие им. В. Гассиева, 2008. — 134 с.
20. Климович И. Н. Пути улучшения диагностики и лечения гепаторенального синдрома у больных острой абдоминальной хирургической патологией // Автореф. дис. ... док. мед. наук. Волгоград, 2007. — 271 с.
21. Карсанов А. М., Маскин С. С., Слепушкин В. Д., Карсанова З. О., Дербенцева Т. В., Саламова Ф. Т., Караев Т. Р. Клинико-эпидемиологическое значение системного воспаления и сепсиса // *Вестник хирургии.* — 2015. — № 4. — С. 99–103.
22. Жидовинов Г. Т., Климович И. Н., Матюхин В. В., Милованов А. Б. Классификация гепато-ренального синдрома у больных острой хирургической патологией // *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета* — 2007. — № 2. — С. 43–47.
23. Грясов В. И., Перфильев В. В., Сивоконь Н. И., Петриченко А. В. Технически сложные лапароскопические холецистэктомии // *Эндоскопическая хирургия.* — 1999. — № 1. — С. 18.
24. Gai H., Thiele H. Ultrasound selection criteria for laparoscopic cholecystectomy // *Chirurg.* — 1992. — Vol. 63. № 5. — P. 426–431.
25. Fitzgibbons R. J. Jr., Tseng A., Wang H. et al. Acute cholecystitis. Does the clinical diagnosis correlate with the pathological diagnosis? // *Surg. Endosc.* — 1996. — Vol.10. № 12. — P. 1180–1184.

© Карсанов Алан Мухарбекович (karsan@inbox.ru), Маскин Сергей Сергеевич (maskins@bk.ru),

Дербенцева Татьяна Викторовна (TVDerbentseva@volgmed.ru), Ремизов Олег Валерьевич (oleg\_remizov@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАПАРОСКОПИЧЕСКОЙ ХОЛЕЦИСТЭКТОМИИ ПРИ ОСТРОМ ХОЛЕЦИСТИТЕ И ОЖИРЕНИИ

### ASPECTS OF IMPROVING THE TECHNOLOGY FOR PERFORMING LAPAROSCOPIC CHOLECYSTECTOMY IN ACUTE CHOLECYSTITIS AND OBESITY

**A. Karsanov**  
**A. Kulchiev**  
**S. Maskin**  
**T. Derbentseva**  
**O. Remizov**

*Summary.* The widespread use of minimally invasive surgical technologies in the treatment of various abdominal pathologies has significantly increased the quality of modern surgical care. Historically, it all began with the introduction of laparoscopic cholecystectomy (LCE), which quickly extended the benefits of the minimally invasive principle to emergencies and “burdened” patient populations. Significant progress associated with the introduction of LCE was achieved in the surgical treatment of acute cholecystitis in obese patients, since some complexity of the intraoperative period was compensated for by a significant decrease in the incidence of complications and mortality in this category of patients.

*Keywords:* surgery, laparoscopic cholecystectomy, cholelithiasis, acute cholecystitis, obesity.

**Карсанов Алан Мухарбекович**

К.м.н., доцент, ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская  
государственная медицинская академия»  
(г. Владикавказ)  
karsan@inbox.ru

**Кульчиев Ахсарбек Азубеевич**

Д.м.н., профессор, ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская  
государственная  
Медицинская академия» (г. Владикавказ)  
kulchiev.ahsarbek@yandex.ru

**Маскин Сергей Сергеевич**

Д.м.н., профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский  
государственный медицинский университет»  
(г. Волгоград)  
maskins@bk.ru

**Дербентцева Татьяна Викторовна**

К.м.н., доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский  
государственный медицинский университет»  
(г. Волгоград)

TVDerbentseva@volgmed.ru

**Ремизов Олег Валерьевич**

Д.м.н., ректор, ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская  
государственная медицинская академия»  
(г. Владикавказ)  
oleg\_remizov@mail.ru

*Аннотация.* Широкое распространение малоинвазивных оперативных технологий при лечении различной абдоминальной патологии значительно повысило качество современной хирургической помощи. Исторически все началось с внедрения лапароскопической холецистэктомии (ЛХЭ), быстро распространившей преимущества малоинвазивного принципа на неотложные состояния и “отягощенные” контингенты пациентов. Существенный прогресс, связанный с внедрением ЛХЭ, был достигнут при хирургическом лечении острого холецистита у пациентов с ожирением, поскольку некоторая сложность интраоперационного периода была компенсирована значительным снижением частоты осложнений и летальности у данной категории пациентов.

*Ключевые слова:* хирургия, лапароскопическая холецистэктомия, желчнокаменная болезнь, острый холецистит, ожирение.

Современная хирургия технологически является отражением достижений мировой науки и одной из передовых отраслей медицинской практики. Наиболее ярким примером реализации технического прогресса в сфере практического здравоохранения является широкое внедрение малоинвазивных оперативных вмешательств в различных областях плановой и неотложной хирургии, основанных на новых способах визуализации, диссекции и восстановления целостности биологических тканей, что, в конечном итоге, значительно повысило качество медицинской помощи по всему миру [1, 2].

Рамки одной статьи не позволяют вместить хронологию всех важнейших этапов и достижений видеоэндоскопической хирургии в мировой и отечественной новейшей медицинской истории [1, 2], но нельзя не вспомнить, что в январе 2021 года исполняется 30 лет с того знаменательного события, когда в Москве была впервые успешно выполнена лапароскопическая холецистэктомия (ЛХЭ) [3]. Почти за 4 года до этого события, в июне 1987 г. Philip Mouret и в 1988 году F. Dubois [2, 4] выполнили ЛХЭ в современном варианте, что дало основание назвать это событие «очередной французской революцией».

Развитие ЛХЭ в плановой и экстренной хирургии шло очень быстро и эффективно. И во многом эти этапы уже подробно описаны многими зарубежными и отечественными исследователями [1, 2, 4]. Нам же хочется восполнить один пробел в изучении и анализе славной истории внедрения ЛХЭ в различных клинических ситуациях осложненной желчнокаменной болезни (ЖКБ).

Речь пойдет о внедрении ЛХЭ в лечение острого холецистита (ОХ) у пациентов, имевших в качестве фонового заболевания морбидное ожирение [5]. Такие пациенты и сейчас составляют особую категорию в структуре контингента хирургических стационаров и большинство из них имеют осложненное течение ЖКБ [2, 6, 7]. Именно выполнение ЛХЭ в неотложной ситуации пациентам с ожирением, даже спустя многолетнюю практику выполнения этой операции, остается фактором высокого риска разнообразных осложнений [8, 9].

Повышенная масса тела хирургического больного всегда была и остается высоко значимым фактором операционно-анестезиологического риска [9, 10]. Ожирение обуславливает преобладание деструктивных форм ОХ (в 68,2–87,4%), ассоциировано с осложненным течением самого заболевания и послеоперационного периода и, как следствие этих двух условий, повышает риск неудовлетворительных результатов лечения [9, 10].

До появления ЛХЭ послеоперационные осложнения в этой группе пациентов возникали у 42,3–81,2% боль-

ных, причем в 23,1% случаях имело место сочетание нескольких осложнений, что обуславливало послеоперационную летальность на уровне 6,8–9,2% [8, 11, 12]. Переносимость открытой холецистэктомии и благополучное течение раннего послеоперационного периода для многих пациентов с ожирением исторически была весьма сомнительна, даже при стихании клинических проявлений хирургического заболевания [13, 14].

Соблюдая историческую и логическую последовательность изложения, следует напомнить, что только с внедрением малоинвазивных видеолапароскопических технологий для лечения заболеваний желчного пузыря (ЖП) появились возможности минимизировать травматичность оперативного доступа, и, тем самым, избежать тяжелых осложнений, особенно у больных с разнообразными сопутствующими заболеваниями [4, 9, 11, 14].

Первые ЛХЭ по поводу ОХ не выполнялись больным со значительной подкожной жировой клетчаткой, то с накоплением опыта эта операция стала выполняться при ожирении III–IV степени с применением специальной методики (удлиненными инструментами, совершенствованием систем лапаролифтинга, ограничения напряженного карбоксиперитонеума) [9, 11]. Это в первую очередь можно было отнести к лечению больных хроническим холециститом, при котором различные аспекты выполнимости радикальных лапароскопических вмешательств были достаточно полно исследованы на заре внедрения новой хирургической технологии [1, 2, 11].

В то время, как при ОХ, а тем более у больных с различной степенью ожирения, многие тактические и технические стороны проблемы лапароскопического лечения требовали дальнейшего изучения и систематизации [8, 9, 11]. К основным из них относились:

- ♦ определение оптимальных сроков выполнения ЛХЭ при ОХ в зависимости от стадии деструктивного процесса стенки ЖП, выраженности синдрома эндогенной интоксикации, степени компенсации нарушений соматического статуса;
- ♦ выработка комплекса дооперационных критериев выполнимости и разработка технических этапов ЛХЭ при ОХ на фоне ожирения;
- ♦ систематизация показаний и противопоказаний к ЛХЭ при ОХ у этой группы больных.

Применив лапароскопическую технологию для операций по поводу ОХ, хирурги столкнулись с целым рядом технических сложностей [2, 4, 12]. Прежде всего, важно определить сроки, позволяющие успешно выполнить ЛХЭ в условиях острого воспаления в ЖП. Большинство авторов считают, что оптимальными для этого являются первые 48–72 часа от начала развития заболевания.

В более поздние сроки, помимо инфильтрации стенок ЖП может развиваться массивный спаечный процесс и грубая рубцовая деформация этой анатомической области, при которых практически отсутствуют анатомические ориентиры треугольника Calot [2, 12].

В свое время еще усилиями С. Ю. Никуленкова (1996) было показано, что в эти сроки еще сохранена нормальная анатомия пузырной и гепатодуоденальной связок, отсутствуют деструкция и перфорация стенки ЖП, паравезикальные абсцессы, распространенный перитонит, а формирующийся околопузырный инфильтрат (38,9%) пока имеет рыхлую структуру.

Рекомендации по началу внедрения ЛХЭ были достаточно разнообразны. Так J. Perissat и соавт. (1993) инсуффлировали газ путем пункции иглой Вереша в левом подреберье, где, по их мнению, реже образуются спайки. У больных, ранее перенесших операции на органах верхнего этажа брюшной полости рекомендуется ультразвуковая диагностика висцеро-париетальных сращений с целью выявления свободного участка.

Допустимость безопасной установки первого лапаропорта определяется с помощью ультразвукового картирования брюшной полости перед лапароскопической операцией или показано открытое введение первого троакара по методике Н. Hasson [11, 12]. Хирургу всегда следует быть готовым к тому, что серьезные затруднения при ЛХЭ по поводу ОХ могут возникнуть на этапе создания экспозиции. Так ЖП нередко окутан сальником, рыхлые сращения при этом легко делимы тупым путем. При разделении плотного инфильтрата возникает достаточно интенсивное диффузное кровотечение, остановка которого термокоагуляцией не всегда допустима при вовлечении в инфильтрат полых органов.

Важное значение для безопасности выполнения ЛХЭ имеет всеобщее понимание того, что рассечение тканей в зоне хирургического интереса при выполнении ЛХЭ при ОХ должно производиться ножницами или крючком без диатермии, использование которой возможно на безопасном расстоянии от холедоха, вследствие абберрантного проведения тепла и ожога его стенки [2, 6, 11].

Основная трудность при создании нужной экспозиции — это напряжение ЖП, утолщение и уплотнение его стенок, что мешает уверенно захватить зажимом и обеспечить тракцию [11]. Поэтому важным моментом операции при ОХ является пункционная декомпрессия ЖП, после чего удастся захватить его зажимом.

Если пункционно ЖП не удастся опорожнить от инфицированной желчи, то его можно вскрыть в области

дна и опорожнить с помощью отсоса-аспиратора. После этого отверстие герметизируется наложением зажима, клипсы, эндопетли, лигатуры, за которую трацируют ЖП [12]. В условиях повышенной опасности перфорации стенки ЖП, либо при попадании инфицированного содержимого (в т.ч. конкрементов) в свободную брюшную полость следует осуществить надежную санацию и извлечь конкременты [11]. На ранних этапах внедрения ЛХЭ это не всегда успешно удавалось. Так М. Catarci и соавт. (1993) описывали ряд случаев образования межкисечных абсцессов в результате оставления в брюшной полости конкрементов.

Наибольшую опасность с точки зрения повреждения тубулярных структур представляют инфильтративные изменения в зоне шейки ЖП, затрудняющие визуализацию и препаровку элементов пузырной связки. Повышенная кровоточивость в зоне пузырно-холедоального перехода чрезвычайно опасна в виду того, что усложняет визуализацию элементов треугольника Calot и тем, что при гемостазе с помощью коагуляции высок риск термического повреждения холедоха. В этой ситуации F. Kockerling (1997) применяет технику антеградной ЛХЭ.

С целью снижения риска повреждения внепеченочных желчных протоков, во всех случаях неясной анатомии, при подозрении на сочетание острого холецистита с холангиолитиазом и патологией большого дуоденального соска показано выполнение интраоперационной холангиографии [2, 11].

По сводной статистике В. А. Кубышкина и соавт. [15] лидерство в структуре поражений внепеченочных желчных путей принадлежало холедохолитиазу, частота которого колебалась при плановых операциях от 3,2 до 12,7%, в то время как при ОХ в 12,0–26,4%, а стриктуры терминального отдела холедоха диагностировались в 10% наблюдений. Спустя три десятилетия общий диапазон повреждения любых внепеченочных желчных протоков составляет 0,32–0,52%, а частота формирующихся на ятрогенной основе иных осложнений и летальности достигает 1,6–5,3% и 0,08–0,14% соответственно [2].

Попытки интраоперационной идентификации тубулярных структур гепато-дуоденальной связки стали применяться с начала применения ЛХЭ. Так А. Е. Борисовым и соавт. (1998) разработаны показания и техника чреспузырной пункционной холангиографии. Авторы считают, что процедура должна выполняться при подозрении на холецистодигестивный свищ. К недостаткам ее следует отнести большой расход контрастного вещества, опасность вымывания мелких конкрементов в протоки, неинформативность при обструкции пузырного прото-

ка. В этой связи, а также в случаях неуверенности в идентификации пузырного протока большинство хирургов прибегают к пункции тонкой иглой общего желчного протока после интраоперационного выполнения ультразвукового исследования или без него.

Методика катетеризационной интраоперационной холангиографии была разработана в 1988 году E. Reddick и D. Olsen [16], она может быть выполнена у 70–95% пациентов. Различные хирургические школы придерживаются селективного (выборочного) или рутинного (обязательного) использования этого вида исследования [11].

В случае очень значительной деструкции и невозможности дифференцировать слои стенки ЖП и ткань печени, выполняется эндоскопический вариант операции Pribram [11, 12] либо ЖП удаляется фрагментарно. На этапе препаровки и клипирования пузырного протока и артерии при ОХ часто возникают сложности вследствие инфильтрации тканей. На этапе выделения ЖП из ложа нередко возникает неконтролируемое кровотечение. Некоторые хирурги предпочитают работать на этом этапе эндоножницами. Коагуляцию предпочтительнее производить электродом-лопаткой, либо лазерокоагуляцию.

Интенсивность диффузного кровотечения вынуждает прибегать к гемостазу с помощью гемостатической губки, фибринового клея, орошением раствором адреналина. F. Kockerling и соавт., еще в 1997 году применили двухкомпонентную фибрин-клеевую аппликацию кровоточащей поверхности в области ложа, помимо обеспечения гемостаза предотвращающую образование желчных фистул из ходов Люшка.

С первых выполненных операций стало очевидным, что для предотвращения распространения инфекции по брюшной полости и для исключения инфицирования проколов брюшной стенки ЖП предлагают извлекать помещенным в резиновый или пластиковый контейнер-накопитель [11, 12]. Нередко приходится расширять пункционное отверстие для извлечения ЖП, что возможно при использовании специального широкого троакара (диаметром до 21 см), ранорасширителя, рассечением апоневроза, либо из наполовину извлеченного ЖП открыто удаляют конкременты.

После извлечения ЖП обязательно проведение саниации заинтересованных отделов брюшной полости, включающей эвакуацию экссудата и фибрина, лаваж растворами антисептиков, дренирование подпеченочного пространства, правого бокового канала, полости малого таза [17]. Доминирующая первоначально точка зрения о необходимости дренажа силиконовой трубкой при отсутствии вовлечения брюшин подпеченочного

пространства в последнее время, особенно за рубежом, подвергается критике, но большинство хирургов при ОХ дренируют область ложа ЖП на 1–2 суток.

Осложнения ЛХЭ делятся на интраоперационные и послеоперационные:

1. Осложнения на 1-м этапе (наложение пневмоперитонеума и введения троакаров): остановка сердечной деятельности, повреждение внутренних органов, кровотечения из проколов передней брюшной стенки, пневмомедиастинум, пневмомезентериум, газовая эмболия, неконтролируемое кровотечение из серповидной связки и др.

По статистике частота осложнений на этом этапе 0,4–1,5% от всех оперированных больных, причем преобладают кровотечения из проколов брюшной стенки (в 0,28–1,36% потребовавшие расширения раны и прошивания). Доля осложнений на этом этапе в структуре всех осложнений около 13% [2].

2. На этапе выделения и отсекация желчного пузыря наиболее серьезным осложнением является повреждение внепеченочных желчных протоков (0,26–0,9%), тогда как при открытой холецистэктомии частота их в 2–5 раз меньше (не превышает 0,13%).

В ранней работе R.F. Martin и R.L. Rossi (1994) выделялось 3 группы факторов риска повреждения внепеченочных желчных путей: опасная анатомия, опасные патологические данные, опасная хирургия. Опасная анатомия — это фактор, включающий различные анатомические варианты строения протоков и наличие жировой клетчатки в воротах печени. По данным D. Collet и др., (1992) тучность и наличие выраженной жировой клетчатки в зоне ворот печени — факторы высокого риска повреждения внепеченочных протоков. Однако значение этого не следует преувеличивать, тем более, что большинство пациентов с ЖКБ жировые отложения в области ворот печени [10, 11, 14].

Интраоперационная диагностика повреждений внепеченочных желчных протоков основана на появлении желчи в области операционного поля, при сохраненной герметичности ЖП. При появлении дополнительных тубулярных структур в области его шейки, расширении предполагаемой культы пузырного протока к концу операции, нарушении целостности протоков по данным интраоперационной холангиографии, следует в первую очередь подумать об этом грозном осложнении ЛХЭ [2, 3]. Послеоперационное выявление повреждений внепеченочных протоков начинается с осмотра макропрепарата, клинически может проявляться в виде синдромов желчеистечения, желчной гипертензии или их сочетания.

Среди других осложнений второго этапа ЛХЭ важнейшим является кровотечение, источником которого чаще всего являются:

- ◆ пузырная артерия (1,4–1,6%), у 16,7% больных при этом осложнении потребовалась лапаротомия для гемостаза;
- ◆ сосуды ложа печени (0,3–3,5%), в подавляющем большинстве это кровотечение не интенсивное, гемостаз обычно достигается коагуляцией и лишь в 0,06–0,25% возникает достаточно массивное кровотечение, требующее длительной коагуляции либо лапаротомии [2, 3, 12].

На этапе извлечения ЖП возможны: выпадение конкрементов в 1,2% случаев, кровотечение из троакарных ран в 2,8% [11].

Послеоперационные осложнения принято дифференцировать на: местные (хирургические) и общие [2]. Они не являются специфичными для лапароскопических вмешательств и по характеру аналогичны таковым в открытой хирургии. Чрезвычайно важно то, что частота и тяжесть осложнений после ЛХЭ гораздо ниже [1, 2, 5, 9].

Своевременный переход к лапаротомии во время ЛХЭ не считается недостатком метода, а разумной и оправданной необходимостью, позволяющей избежать осложнений [5, 6, 13]. Необходимость в конверсии по ходу ЛХЭ возникает в 3–7% случаев [2, 5, 6, 11, 13]. Ранние данные К. А. Zucker и соавт. (1991) о значительно большей частоте конверсии при ОХ (23%), чем при хроническом воспалении (4,7%), подтвердились данными других авторов.

Мнение признанного европейского авторитета F. Dubois, несмотря на огромный опыт имевшего немалый процент конверсии (6,3%), о том, что следует чаще обращаться к открытой операции во избежание осложнений в технически сложных случаях, даже сейчас разделяют многие хирурги [2]. В этой связи, во многих клиниках установлен предел времени для пробной мобилизации ЖП. За 30 минут от начала его выделения, пузырный проток должен быть четко определен и подготовлен к клипированию.

Таким образом, преимущества ЛХЭ наиболее очевидны именно у тучных больных, поскольку эта операция значительно реже сопровождается такими частыми осложнениями открытой операции, как: раневая инфекция, пневмония, тромбоз глубоких вен и послеоперационные грыжи.

В то же время, особый соматический статус и значительная мультиморбидность пациентов при высоких степенях ожирения накладывают повышенные требования к качеству анестезии и комплексной безопасности интраоперационного периода.

Несмотря на многолетнюю историю внедрения ЛХЭ следует признать, что отдельные проблемы лечения пациентов с острым холециститом на фоне ожирения остаются. Наиболее очевидной из них является то, что удастся лишь незначительно сократить частоту повреждения внепеченочных желчных протоков при выполнении ЛХЭ в условиях плотного паравезикального инфильтрата.

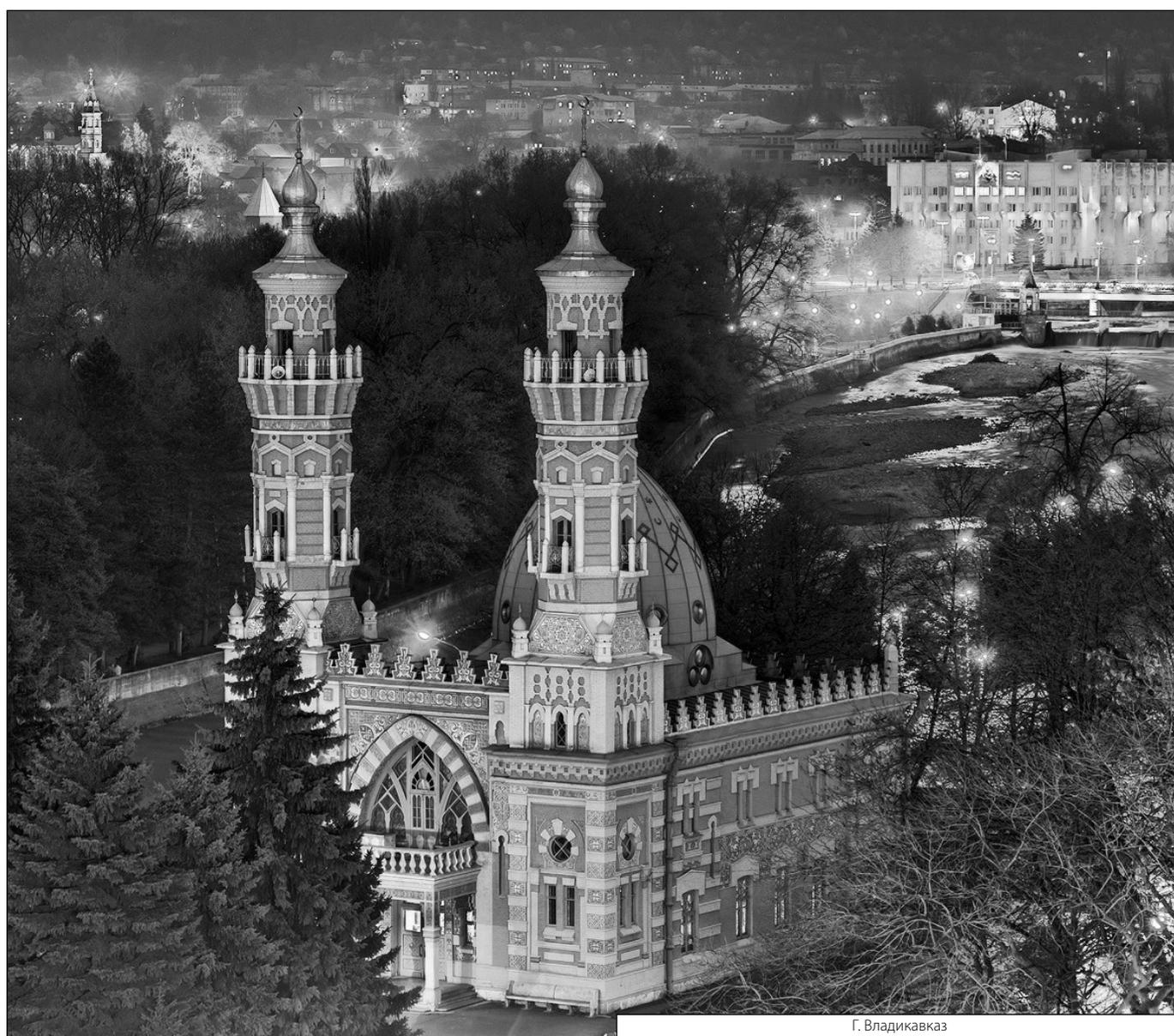
#### ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов С. И. Современное состояние и перспективы развития эндоскопической хирургии // Тихоокеанский медицинский журнал. — 2009. — № 2. — С. 7–10.
2. Федоров И. В., Чугунов А. Н., Славин Л. Е., Славин Д. А., Федоров В. И. К 30-летию внедрения лапароскопической холецистэктомии: проблемы остаются // Казанский медицинский журнал. — 2019. — № 3. — С. 537–566.
3. Галлингер Ю. И., Тимошин А. Д., Мовчун А. А., Цацаниди А. К., Биктагиров Ю. И. Лапароскопическая холецистэктомия // Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова. — 1991. — № 6. — С. 130–131.
4. Wolfe B. M., Gardiner B., Frey C. F. Laparoscopic Cholecystectomy: A Remarkable Development // JAMA. — 2015. — Vol. 314. № 13. — P. 1406. doi: 10.1001/jama.2014.12014.
5. Эндокринология. Национальное руководство. Под ред. И. И. Дедова, Г. А. Мельниченко. ГЭОТАР-Медиа, М., 2008. — 587 с.
6. Сажин В. П., Сажин И. В., Подъяблонская И. А., Карлов Д. И., Нуждихин А. В., Айвазян С. А. Этиология “сложных” лапароскопических холецистэктомий // Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова. — 2016. — № 1. — С. 61–66.
7. Кульчиев А. А., Сланов А. В. Острый панкреатит. Издательско-полиграфическое предприятие им. В. Гассиева, Владикавказ, 2008. — 134 с.
8. Augustin T., Moslim M. A., Brethauer S., Aminian A., Kroh M., Schneider E., Walsh R. M. Obesity and its implications for morbidity and mortality after cholecystectomy: A matched NSQIP analysis // Am. J. Surg. — 2017. — Vol. 213. № 3. — P. 539–543.
9. Tiong L., Oh J. Safety and efficacy of a laparoscopic cholecystectomy in the morbid and super obese patients // HPB (Oxford). — 2015. — Vol. 17. — № 7. — P. 600–604.
10. Маскин С. С., Карсанов А. М., Дербенцева Т. В., Матюхин В. В., Карсанова З. О. Дифференцированный выбор тактических решений при генерализованной внутрибрюшной инфекции // Московский хирургический журнал. — 2015. — № 1. — С. 36–40.
11. Ansaloni L., Pisano M., Coccolini F., Peitzmann A. B. et al. 2016 WSES guidelines on acute calculous cholecystitis // World J. Emerg. Surg. — 2016. — Vol. 11. — P. 25. doi: 10.1186/s13017-016-0082-5.

12. Pisano M., Allievi N., Gurusamy K., Borzellino G. et al. 2020 World Society of Emergency Surgery updated guidelines for the diagnosis and treatment of acute calculus cholecystitis // *World J. Emerg. Surg.* — 2020. — Vol.15. — P. 61. doi: 10.1186/s13017-020-00336-x.
13. Han I. W., Lee H. K., Park D. J., Choi Y. S., Lee S. E., Kim H., Kwon W., Jang J. Y., Lee H., Heo J. S. Long-term patient-reported outcomes following laparoscopic cholecystectomy: A prospective multicenter observational study // *Medicine (Baltimore)*. — 2020. — Vol.99. № 35. — e21683.
14. Jang E. J., Roh Y. H., Kang C. M., Kim D. K., Park K. J. Single-Port Laparoscopic and Robotic Cholecystectomy in Obesity (>25 kg/m<sup>2</sup>) // *JSLs*. — 2019. — Vol.23. № 2. — e2019.00005.
15. Кубышкин В. А., Стрекаловский В. П., Вуколов А. В. Лапароскопическая холецистэктомия: старые проблемы в новом свете // *Хирургия*. — 1997. — № 1. — С. 65–68.
16. Reddick E. J., Olsen D. O. Laparoscopic cholecystectomy, a comparison with mini-lap cholecystectomy // *Surg. Endosc.* — 1989. — Vol.3. № 3. — P. 131–133.
17. Карсанов А. М., Маскин С. С., Слепушкин В. Д., Карсанова З. О., Дербенцева Т. В., Саламова Ф. Т., Караев Т. Р. Клинико-эпидемиологическое значение системного воспаления и сепсиса // *Вестник хирургии*. — 2015. — № 4. — С. 99–103.

© Карсанов Алан Мухарбекович ( karsan@inbox.ru ), Кульчиев Ахсарбек Агубеевич ( kulchiev.ahsarbek@yandex.ru ),  
 Маскин Сергей Сергеевич ( maskins@bk.ru ), Дербенцева Татьяна Викторовна ( TVDerbentseva@volgmed.ru ),  
 Ремизов Олег Валерьевич ( oleg\_remizov@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Г. Владикавказ

## МЕТОДЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ МНОГОУЗЛОВОГО ЗОБА У ПАЦИЕНТОВ В ЙОДОДЕФИЦИТНОМ РЕГИОНЕ

### METHODS OF SURGICAL TREATMENT OF MULTINODULAR GOITER IN PATIENTS LIVING IN AN IODINE-DEFICIENT REGION

**M. Magomedov  
O. Osmanov**

**Summary.** The results of surgical treatment of 548 patients with multinodular goiter were analyzed over a ten-year period. The middle age of the examined patients was 50.3+11.6 years, 80% of women. The study objective is to determine the risk factors for complications and their occurrence post various methods of thyroidectomy in patients with multinodular goiter. The patients were divided into two groups. The patients operated in 2009–2015 (308 patients in total) were assigned to the first group with subtotal thyroidectomy. The second group included 240 patients who underwent total thyroidectomy in 2016–2019. Among 308 patients of the first group, 85 patients (27.5%) had relapse and 139 patients (41.9%) had hypothyroidism. When comparing the surgical procedures such as subtotal thyroidectomy and total thyroidectomy, statistical significance was registered. Transient hypoparathyroidism was diagnosed much more often in patients post total thyroidectomy vs patients post subtotal thyroidectomy.

The key factors affecting the recurrence of benign thyroid nodule are: young age, iodine deficiency in the region, bilateral multinodular goiter and insufficient surgical intervention. If we consider the methods of surgical treatment of multinodular goiter with regard to the risk of complications, then total thyroidectomy is most effective in comparison with subtotal thyroidectomy.

**Keywords:** multinodular goiter, thyroidectomy, subtotal thyroidectomy, hemithyroidectomy, thyroid gland.

**Магомедов Мухума Магомедович**

Д.м.н., профессор, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» МЗ РФ (Махачкала)  
tixuia@mail.ru

**Османов Омар Магомедтагирович**

К.м.н., ГБУ «Городская клиническая больница № 67» (Москва)  
otarov@mail.ru

**Аннотация.** Анализированы результаты оперативного лечения 548 пациентов с многоузловым зобом за 10 лет. Средний возраст обследованных составил 50,3+11,6 лет, 80% женщин. Целью настоящего исследования является определение факторов риска осложнений и их возникновения после применения различных методов тиреоидэктомии у пациентов с многоузловым зобом. Все пациенты были разделены на две группы. Больные оперированные за 2009–2015 годы в количестве 308 пациентов были отнесены к первой группе с субтотальным удалением щитовидной железы. Во второй группе были отнесены 240 пациентов оперированные за период 2016–2019 годы тотальным удалением щитовидной железы. Из 308 пациентов первой группы был рецидив у 85 (27,5%) и гипотиреоза у 139 (41,9%) случаях. При сравнении таких хирургических процедур, как субтотальная тиреоидэктомия и тотальная тиреоидэктомия была зафиксирована статистическая значимость. Транзиторный гипопаратиреоз диагностировался гораздо чаще у пациентов после проведения тотальной тиреоидэктомии по сравнению с пациентами, перенесшими субтотальную тиреоидэктомию.

Основными факторами, влияющими на рецидив доброкачественного узлового образования щитовидной железы, являются: молодой возраст, йододефицитность региона, двусторонний многоузловой зоб и недостаточное хирургическое вмешательство. Если рассматривать методики хирургического лечения многоузлового зоба с позиции степени риска возникновения осложнений, то использование тотальной тиреоидэктомии наиболее эффективно по сравнению с субтотальной тиреоидэктомией.

**Ключевые слова:** многоузловой зоб, тиреоидэктомия, субтотальная тиреоидэктомия, гемитериоидэктомия, щитовидная железа.

### Введение

**В**опросы выбора метода хирургического лечения многоузлового зоба в настоящее время представляют собой актуальную проблему, в связи с увеличением количества таких пациентов и отсутствием единых подходов к определению оперативной тактики [1–2]. Тиреоидэктомия остается важным вариантом лечения многоузлового зоба и является одной из самых часто выполняемых операций хирургами общей прак-

тики за рубежом. Дагестан является эндемичным регионом, где у большинства пациентов диагностируется многоузловой зоб [3]. Несмотря на успехи современной эндокринной хирургии, количество послеоперационных осложнений остается высоким — 6–11%, что обусловлено различными подходами к определению показаний к операции, недостаточный технический вариант общих хирургов и их подготовка [4]. Как известно, оперативное лечение многоузлового зоба, часто осложняется с повреждением анатомических структур шеи, наибольшее

значение имеют возвратные гортанные нервы, транзитную гипокальцемию и постоянный гипопаратиреоз [5].

В последнее время операция по удалению доброкачественного зоба была признана приемлемым и безопасным методом лечения, с низким хирургическим риском и смертностью [6–3]. Несмотря на улучшение диагностики и лечения заболеваний щитовидной железы, в последние два десятилетия в литературе остается спорным вопрос о том, какой метод эффективней [7]. Ранее субтотальная тиреоидэктомия при многоузловом зобе рассматривалась как лечение по золотому стандарту, что было обусловлено сокращением случаев осложнений со стороны гортанного нерва и паращитовидной железы, уменьшением потребности в пожизненной заместительной гормональной терапии [8,7]. Известно, что при длительном наблюдении после субтотальной тиреоидэктомии при многоузловом зобе следует ожидать увеличения частоты рецидивов до 78% [9,2]. Вместе с тем не секрет, что повторная операция при рецидиве зоба приводит к увеличению риска повреждения верхнего гортанного нерва и паращитовидной железы. В настоящее время многие клиники изменили свою оперативную тактику в пользу применения тотальной тиреоидэктомии, хотя и субтотальная тиреоидэктомия по-прежнему остается предпочтительным вариантом [10].

Оценка эффективности радикальных и органосохраняющих оперативных вмешательств при многоузловом зобе с точки зрения отдаленных результатов хирургического лечения, неоднозначна, поэтому, актуальным остается поиск оптимальных методик лечения многоузлового зоба. Руководствуясь выше приведенными данными, была поставлена цель оценить результативность применения различных методов операций при диагностированном многоузловом зобе.

### Цель исследования

Определить факторов риска осложнений и их возникновения после операции на щитовидной железе у пациентов многоузловым зобом.

### Материалы и методы

Исследование было одобрено Этическим комитетом Дагестанского государственного медицинского университета. Пациенты дали согласие на обработку персональных данных. Проведен ретроспективный анализ в общей сложности у 548 пациентов, которым с 2009 по 2019 годы были выполнены операции на щитовидной железе с диагнозом многоузловый зоб доброкачественной этиологии. Все пациенты были разделены на две группы. Пациенты оперированные за 2009–2015 годы в количе-

стве 308(56,2%) были отнесены к первой группе. Пациентам проводилась субтотальная тиреоидэктомия (СТ), необходимость манипуляции была основана на результатах предоперационных тестов, интраоперационного исследования и анализа гистологических результатов. Во второй группе были отнесены 240 (43,8%) пациентов оперированные за период 2016–2019 годы с проведением тотальным удалением щитовидной железы.

Были собраны и изучены данные у ранее прооперированных (48%) пациентов — возраст, пол, семейный анамнез, применение заместительной терапии L-тироксина, симптоматика, пред- и послеоперационным лечение, частота рецидивов, осложнений, опыт хирурга. Информация была собрана из истории болезни, операционных данных, результатов гистологического исследования и физикального обследования. Также был оценен уровень тиреоидных гормонов в сыворотке крови, состояние тиреоидного остатка. Пациентам было проведено ультразвуковое исследование щитовидной железы на аппарате Aloka SSD5000 (фирма Япония) с использованием конвексных датчиков с частотой 5 МГц. На УЗИ определяли наличие и объем оставшейся ткани щитовидной железы, а также признаки узловых образований щитовидной железы. Также было назначено дополнительное обследование у отоларингологов. Показанием к выявлению рецидива было наличие узлов с риском развития злокачественности, большого зоба и компрессионных симптомов. Для каждой операции рассчитывали частоту рецидивов и количество пациентов, нуждающихся в повторной операции. Пациенты первой группы были разделены на две подгруппы: 1-ю подгруппу составили пациенты без рецидива заболевания, во 2-ю подгруппу вошли пациенты, у которых рецидив был выявлен в процессе наблюдения.

Подробно изучались имеющиеся в анамнезе послеоперационные осложнения, включавшие транзитную гипокальцемию, перманентный гипопаратиреоз, рецидивирующее повреждение гортанного нерва и послеоперационная гематома. Гипокальцемию определялась по уровню кальция в сыворотке крови с содержанием менее 8,4 мг/дл (нормальный диапазон: 8,4–10,4 мг/дл). Транзитная гипокальцемию определялась как послеоперационная гипокальцемию, которая разрешилась в течение 6 месяцев после тиреоидэктомии. Перманентный гипопаратиреоз определялся, как послеоперационная гипокальцемию, сохраняющаяся в течение более чем 6 месяцев после операции. В отдельных случаях проводил КТ исследования для верификации загрудинного рецидивного зоба.

**Статистический анализ** проводился за счет SPSS для Windows (SPSS Inc. Chicago IL, USA), версия 15.0. Результаты определились в виде среднего значения

± стандартное отклонение (SD). Связь между клиническими данными и рецидивом заболевания или необходимостью повторного вмешательства анализировали с помощью точного критерия Фишера (для категориальных переменных) и U-критерия Манна-Уитни (для непрерывных переменных). Достоверным считали  $p < 0,05$ .

## Результаты

Пациенты дали информированное согласие на представление, хранение, анализ полученных данных. Средний возраст 548 обследованных пациентов составил  $50,3 \pm 11,6$  года, 80% из которых женщины. За период 2010–2015 г. 308 (56,2%) пациентам была назначена СТЭ (первая группа), начиная с 2010 и по 2015 г. Во второй группе были отнесены 240 (43,8%), которые перенесли ТТЭ. Тиреоидэктомия была хирургической процедурой выбора для всех пациентов второй группы. Наиболее важные принципы, используемые при выполнении операции на щитовидной железе было: 1) визуализация возвратных гортанных нервов и околощитовидных желез; 2) попытка определить наружные ветви верхнее гортанного нерва перед перевязкой верхней щитовидной артерии; 3) перевязки ветвей нижней щитовидной артерии для сохранения кровоснабжения паращитовидных желез. Изменение в оперативном лечении было сделано в ответ на выявлении частых рецидивов многоузловом зобе. Частота рецидива зоба первой группы составила 27,5% ( $n = 85$ ) и гипотиреоза у 139 (45,1) пациентов. Интервал между первичной операцией и выявленным рецидивом составил  $4,8 \pm 2$  года (диапазон 2–8 лет) и спустя 10 лет с момента операции рецидив развился и еще у 12 пациентов. Частота рецидива второй группы не было.

Статистически значимых различий в сравнении возраста, пола и семейного анамнеза между группами не выявлено ( $p > 0,05$ ).

В 1-й группе было больше пациентов, получавших заместительную терапию L-тироксина, который не оказал влияния на частоту рецидивов.

В группе оперированных не было зафиксировано летальных случаев. Два пациента (0,8%) второй группы нуждались в срочном повторном оперативном вмешательстве по поводу гематомы. Среднее время операции составило первой группе ( $120 \pm 12,1$  мин, диапазон 58–185 мин). Во второй группе составило  $139 \pm 25,3$  мин, (диапазон 70–212 мин). Речевые нарушения была зафиксирована у 1 (0,4%) пациента, у которых послеоперационной фиброоптической видеоларингоскопии был визуализирован односторонний паралич наружного гортанного нерва. Не было зафиксировано ни одного случая дву-

сторонней травмы нерва. Парезы гортанны были отмечены у 10 (4,7%) и транзиторная гипокальцимия у 17 (7,1%) пациентов, а гипотиреоз у всех оперированных. Из 308 (56,2%) оперированных пациентов первой группы осложнения возникли наиболее часто, рецидив у 85 (27,6%), парез гортани у 12 (3,8%) пациентов, у 13 (4,2%) транзиторная гипокальцимия и гипотиреоз у 129 (41,8%). Перманентного гипопаратиреоза и транзиторного или перманентно рецидивирующего паралича гортанного нерва достоверно не различались между больными после проведенных СТЭ и ТЭ ( $p > 0,05$ ), в то время как транзиторный гипопаратиреоз был достоверно выше у больных ТЭ по сравнению с пациентами СТЭ ( $p < 0,05$ ). Повторная госпитализация потребовалась (0,7%) пациентам спустя 5 суток из-за гематомы у пациентов второй группы.

## Обсуждение

Границы резекции при операциях на щитовидной железе менялись годами. До конца XX века тотальная тиреоидэктомия, за исключением рака щитовидной железы, выполнялась крайне редко из-за высокой частоты осложнений. В этот период именно субтотальная тиреоидэктомия при доброкачественных заболеваниях щитовидной железы была принята в качестве золотого стандарта терапии. Однако после длительного наблюдения за результатами после проведения субтотальной тиреоидэктомии было очевидно, что эта операция приводит к частым рецидивам. После этого начались дискуссии о наиболее оптимальном методе хирургического вмешательства при доброкачественных заболеваниях щитовидной железы [11, 3].

Большинство исследований, связанных с изучением рецидива при многоузловом зобе, проводятся после 4–5 лет послеоперационного периода. В случае более длительного периода наблюдения закономерно возникновение увеличения частоты рецидивов. Частота рецидивов после СТЭ, особенно после наблюдения в течение 10 лет, достигает 40% [12]. Рецидивы доброкачественных заболеваний щитовидной железы определяются в литературе по-разному [13,5]. Инструментами, для выявления рецидива являются: физикальный осмотр, УЗИ щитовидной железы, функциональные тесты щитовидной железы, сцинтиграфия, а иногда и компьютерная томография.

Основной целью хирургического лечения заболеваний щитовидной железы всегда должно быть выполнение наиболее эффективного лечения с минимальными осложнениями и частотой рецидивов. Тиреоидэктомия при доброкачественных заболеваниях устраняет заболевание и предотвращает возможность рецидива. Однако авторы, которые выступают против тотальной

тиреоидэктомии при лечении доброкачественных заболеваний, отмечают повышенный риск возникновения рецидива, в том числе поражение гортанного нерва и паращитовидной железы [14,6]. Они подчеркивают, что эти пациенты также приговорены к пожизненной заместительной гормональной терапии. В настоящем исследовании после первичного хирургического вмешательства показатели осложнения паралича гортанного нерва и паращитовидной железы были не выше, чем сообщалось в литературе [15,9]. Кроме того, только транзиторная гипокальциемия была достоверно выше у больных, которым проводилась ТЭ по сравнению с больными после СТЭ.

Хирургическое лечение во время повторных операций затруднено из-за фиброза, возникшего в результате проведения операции.

Заболеваемость, вызванная травмой нерва, в этой ситуации выше. Развитие паралича ВГН при повторной операции напрямую связано с опытом хирурга и составляет от 0 до 14%, что отмечено в литературе [12,2]. Рецидивирующий паралич гортанного нерва после предыдущей операции может маскироваться контралатеральной компенсацией, и голос может казаться нормальным. Таким образом, предоперационное обследование голосовых связок должно проводиться у пациентов, которые являются кандидатами на повторную операцию, и в случае предполагаемого риска, некоторая часть ткани щитовидной железы должна быть оставлена в задней части, чтобы предотвратить двустороннее повреждение нерва.

Перед повторной операцией оценить локализацию и функциональное состояние паращитовидных желез порой невозможно. Выделение паращитовидных желез может быть затруднено, и для предотвращения постоянной гипокальциемии при случайно удаленных железах рекомендуется аутоперитрансплантация [8,9]. Даже когда повторные операции выполняются опытными хирургами, риск повреждения паращитовидной железы и ВГН значительно выше по сравнению с первой операцией. Мы провели сравнительное исследование между повторной операцией щитовидной железы и первичной операцией щитовидной железы с точки зрения осложнений. В повторных случаях наблюдается значительно более высокая степень осложнений с повреждением ВГН и паращитовидной железы.

В последнее время исследования, касающиеся рецидива при доброкачественных заболеваниях щитовидной железы, показывают, что молодой возраст, мультинодулярный зоб, йододефицитный регион, семейный анамнез и неадекватная хирургия являются основными факторами риска рецидива. Для предотвращения рецидива

доброкачественного заболевания щитовидной железы необходима детальная предоперационная оценка, чтобы решить вопрос о соответствующем хирургическом вмешательстве. Качество ультразвукового исследования с тонкоигольной биопсией, которое используется как для доброкачественных, так и для злокачественных заболеваний щитовидной железы, зависит от квалификации врача ультразвуковой диагностики и хирурга. При многоузловом зобе 40% узлов расположены близко к задней капсуле щитовидной железы и могут быть оставлены во время субтотальной резекции [7,12]. Эти узлы могут расти независимо от ТТГ и приводить к высокой частоте рецидивов. В частности, в эндемичных регионах такие процедуры, как энуклеация, субтотальные и гемитиреоидэктомия, не рекомендуются при многоузловом зобе, поскольку существует неизбежный риск распространения рецидива на оставшейся ткани [8, 13]. Тотальная тиреоидэктомия рассматривается как все более предпочтительный вариант лечения узловых заболеваний, вовлекающих обе доли щитовидной железы при доброкачественных зобах.

Семейный анамнез может рассматриваться как существенный фактор в развитии рецидива после операции по поводу многоузлового зоба [14,15]. В проведенном исследовании не было выявлено достоверных различий при сравнении семейного анамнеза между группами ( $p > 0,05$ ).

Некоторые исследования показали, что терапия L-тироксином защищает от рецидивов и повторных операций, уменьшая стимуляцию ТТГ на остаточной ткани. Это позволяет утверждать, что добавление тиреоидных гормонов после консервативной операции может эффективно защитить пациентов от рецидива [10,11]. Но, с другой стороны, по данным других исследователей, несмотря на заместительную терапию, длительное послеоперационное наблюдение показало высокую частоту рецидивов после субтотальной тиреоидэктомии [4,7]. Недавние исследования показывают, что защитный эффект гормональной терапии является спорным [2,7,10].

## Заключение

Ограниченные хирургические резекции, отсутствие заместительной терапии, йододефицитный регион, молодой возраст должны учитываться в качестве сопутствующих факторов рецидива. Необходимость повторной операции при рецидивах доброкачественных заболеваний щитовидной железы является серьезной клинической проблемой в связи с высокой частотой послеоперационных осложнений. Фактически можно утверждать, что тотальная тиреоидэктомия является предпочтительной операцией при многоузловом зобе, во избежание возникновения рецидива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кахаров А. М., Ибодов Г. К. Современные аспекты диагностики и хирургического лечения доброкачественного узлового и многоузлового зоба // *Здравоохранения Таджикистана*. 2016. № 1. С. 77–82.
2. Кухненко Ю. В., Косивцов О. А., Михин И. В., Рясников Л. А. Результаты хирургического лечения пациентов с различными заболеваниями щитовидной железы // *Вестник ВолГМУ*. 2015. Том 4. № 56. С. 67–72.
3. Магомедов М. М., Адыкбекова З. А. Заболевание щитовидной железы ее осложнения. Махачкала «Лотос», 2020. С. 146.
4. Aleksander P. E., Bruckner-Spieler M., Stoehr A. M., Lankes E., Kiihnen P., Schnabel D., Emert A., Stablein W, Craig M. E., Blankenstein O., et al. Mean high-dose 1-thyroxine treatment is efficient and safe to achieve a normal IQ in young adult patients with congenital hypothyroidism. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 2018. vol.103. p.1459–1469. (10.1210/jc.2017–01937).
5. Dreval A. V. Hypothyroidism. In: Karachentsevlul, Kazakov A.Y, Kravchun N. A., IPina M., editors. 100 izbrannykhlektzii po endokrinologii [100 selected lectures on endocrinology], 2nd ed. Kharkiv: SAM. 2014. p.1000.
6. Jonklaas J., Bianco A. C., Bauer A. J., Burman K. D., Cappola A. R., Celi F. S., Cooper D. S., Kim B. W., Peeters R. P., Rosthal M. S., et al. Guidelines for the treatment of hypothyroidism: prepared by the American Thyroid Association task force on thyroid hormone replacement. *Thyroid*. 2014. vol. 24. p.1670–1751. (10.1089/thy.2014.0028).
7. Mohammed N. S., Ahmed S. A. Postoperative complications after total thyroidectomy for benign thyroid diseases. *ISJ*.2019;6(9):3064–3068. DOI: 10.18203/2349–2902.isj20194034.
8. Mok V. M., Oltmann S. C., Chen H., Sippel R. S., Schneider D. F. Identifying predictors of a difficult thyroidectomy. *J. Surg. Res*. 2014. vol. 190. p. 157–163.
9. Pankiv V. I. Thyroid-stimulating hormone level in blood as a basic diagnostic marker and criterion of successful treatment of thyroid diseases. *Reproductive Endocrinology*. 2017. vol. 3. no. 35. p. 84–88. (in Ukrainian).
10. Yasin Peker, Necat Cin, Haldun Kar, Fatma Tar [et.al.] Prospective Evaluation of Perioperative Biochemical Test to Predict Hypocalcemia After Total Thyroidectomy.2020. vol.82. p.187–190.
11. Persani L., Candiano B., Bonomi M. The diagnosis and management of central hypo thyroidism. I., 2018 // *Endocrine connections*, 2019. Vol. 8. p. 44–54.
12. Qari F. Hypothyroidism in clinical practice. *J Family Med Prim Care*. 2014. vol. 3. no.2. p. 98–101. doi: 10.4103/2249–4863.137
13. Rayes N., Steinmiiller T., Schroder S., Klotzler A., Bertram H., Denecke T., et al. Bilateral subtotal thyroidectomy versus hemithyroidectomy plus subtotal resection (Dunhill Procedure) for benign goiter: long-term results of a prospective, randomized study. *World J Surg*. 2013. vol. 37 no.1. p. 84–90.
14. Shyam S. T., Ayathu VS., Sai. M. Solitary thyroid: an overview of one year study at a tertiary carehospital. *ISJ*. 2019. vol. 6(a). p. 3117–3121. DOI: <http://dx.doi.org/10.18203/2349–2902.isj20193648>.
15. Zambudio A. R., Rodriguez J., Riquelme J., Soria T., Canteras M., Parrilla P. Prospective study of postoperative complications after total thyroidectomy for multinodular goiters by surgeons with experience in endocrine surgery. *Ann Surg*. 2004. vol. 240. no.1. p. 18–25.

© Магомедов Мухума Магомедович ( [muxua@mail.ru](mailto:muxua@mail.ru) ), Османов Омар Магомедтагирович ( [omarov@mail.ru](mailto:omarov@mail.ru) ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МЕСТО ОПЕРАЦИИ ПЛАСТИКИ АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА АУТОПЕРИКАРДОМ ПО ОЗАКИ В ЛЕЧЕНИИ ПРИОБРЕТЕННЫХ АОРТАЛЬНЫХ ПОРОКОВ

## THE PLACE OF THE OZAKI OPERATION IN THE SURGICAL THERAPY OF AORTIC VALVE FAILURE

**A. Moiseev**

*Summary.* The article is devoted to the review, long-time results and modifications of aortic valve reconstruction with glutaraldehyde-treated autologous pericardium.

*Keywords:* aortic valve; aortic valve reconstruction.

**Моисеев Алексей Александрович**

*alexi.moiseev@gmail.com*

Аспирант, ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

*Аннотация.* Статья представляет обзор современной литературы по оперативной технике, отдаленным результатам и модификациям пластики аортального клапана аутоперикардом по методике Озаки.

*Ключевые слова:* аортальный клапан; реконструкция аортального клапана; операция Озаки.

### Введение

**П**атология аортального клапана является самой распространенной среди клапанных пороков, их доля составляет 44,3%. Лидирующее место принадлежит аортальному стенозу, встречающемуся с частотой 33,9% согласно исследованию Euro Heart Survey (1). В течение длительного времени протезирование аортального клапана является золотым стандартом лечения патологии приобретенных изолированных аортальных пороков. За год в мире выполняется 280000 вмешательств (2). В группе пациентов с аортальным стенозом высокого операционного риска показано преимущество выполнения транскатетерного протезирования аортального клапана (3).

На сегодняшний день существует широчайший выбор технологий замены аортального клапана и корня аорты. Несмотря на это идеальный протез аортального клапана остается лишь теоретической моделью, имеющей те же гемодинамические и биологические характеристики, что и человеческий клапан, не склонной к тромбогенезу и развитию инфекционных осложнений. Воплотить данную модель в реальность к настоящему времени не удалось (4).

Протезирование аортального клапана сопряжено с рядом специфических осложнений. В исследовании (5) была выявлена повышенная госпитальная летальность при имплантации протезов клапана малого диа-

метра (19 мм) в группе пациентов с узким корнем аорты. В работе (6), посвященной исследованию отдаленных результатов хирургического лечения инфекционного эндокардита аортального клапана, осложненного формированием абсцесса корня аорты, отмечена высокая частота рецидивирования инфекции, в 10% случаев потребовавшей проведения повторного оперативного вмешательства.

### Современное состояние реконструкции аортального клапана

Попытки реконструкции аортального клапана предпринимаются в течение длительного времени. Первая публикация принадлежит Taylor, 1958 г. и сводится к наружной субкоронарной шовной пластике расширенного кольца аортального клапана на работающем сердце (7). Первая в условиях искусственного кровообращения техника пластики аортального клапана опубликована Cabrol в 1966 г., ее суть в выполнении субкомиссуральной пликацией створок аортального клапана, за счет которой достигается редукция диаметра дилатированного кольца (8). Обе методики имеют существенный недостаток, связанный с ранним, в сроки до 12 месяцев, рецидивированием и прогрессированием аортальной недостаточности. Кроме того, оба варианта пластики являются высокооператорозависимыми, поскольку необходимая степень сужения аортального кольца субъективна, а в случае Taylor вовсе практически недоступна для объективной интраоперационной оценки.

В 2006 г. в работах Lansac и соавт. описана наружная пластика аортального клапана гибким кольцом в субкоронарной позиции, позволяющая с удовлетворительными долгосрочными результатами, как изолированно, так и в сочетании с супракоронарным протезированием восходящей аорты при ее аневризме, либо в сочетании с операцией Yakoub при аневризме корня аорты, устранять аортальную недостаточность, обеспечивая 7-летнюю свободу от повторных вмешательств на аортальном клапане в 92% случаев (9,10).

В современных рекомендациях по лечению клапанной болезни сердца реконструкция аортального клапана по David либо Yakoub в сочетании с аннулопластикой считается показанной в группе молодых пациентов при достаточном уровне подготовки хирургической бригады (11).

Несмотря на это большая часть вмешательств на аортальном клапане сводится к его протезированию. Так, например, в Германии в 2018 г. выполнено 10 022 операций коррекции его пороков. Из них реконструкций — 193 (12). По всей видимости, это связано с невозможностью пластики значительно измененных створок, в частности, при тяжелом аортальном стенозе.

### Реконструкция аортального клапана по Озаки

Пластика створок аортального клапана по Озаки представляет собой новый метод реконструкции створок аортального клапана обработанным аутоперикардом, описанный в 2010 г. проф. S. Ozaki (13). Это инновационный метод пластики аортального клапана, являющийся альтернативой выполнению протезирования. Преимуществом метода является отсутствие имплантируемых в корень аорты искусственных материалов.

Впервые техника пластика створок аортального клапана аутоперикардом была впервые описана Duran в 1995 г (14). Отличие процедуры Озаки заключается в стандартизации выполнения последней.

Суть метода заключается в замещении иссеченных створок аортального клапана обработанным глутаральдегидом аутоперикардом. Нео-створки выкраиваются с использованием стандартного трафарета. Размер створок определяется на основе измерения межкомиссурального расстояния стандартным измерителем.

Створки фиксируются в корне аорты непрерывным швом в обоих направлениях, начиная с нижней точки соответствующего коронарного синуса. Оперативным доступом является полная срединная стернотомия, что обусловлено необходимостью забора аутоперикарда (13).

В 2018 г. Ozaki и соавт. опубликован анализ отдаленных результатов выполнения пластики у 850 пациентов со средним возрастом в 71 г (62–78 л) (15). Основным показанием к операции был аортальный стеноз (62,8%). Остальная группа включала больных с аортальной недостаточностью (29,9%), сочетанным пороком (7,2%), инфекционным эндокардитом (2,2%).

В 57% случаев выполнена изолированная процедура Озаки, в остальных — сочетанные вмешательства — симультанное протезирование восходящей аорты (13,3%), АКШ (9,9%). В случае изолированных вмешательств время искусственного кровообращения  $106,8 \pm 27,5$  мин, время ишемии  $150,4 \pm 30,4$  мин.

В исследовании проанализированы 7-летние результаты выполнения процедуры Озаки. Отмечена выживаемость в 85,9%. Смертность в 80% случаев имеет экстракардиальные причины.

Отмечена стабильность градиента в послеоперационном периоде на уровне  $19,5 \pm 10,3$  мм. рт.ст., аортальная недостаточность 2 ст. и выше — 17 пациентов (0,02%).

Основным осложнением среди прооперированных пациентов, требующих повторного вмешательства, был инфекционный эндокардит (0,3% случаев — 15 пациентов).

Группой Ozaki и соавт. выполнен в 2014 г. анализ эффективности метода в группе пациентов старше 80 лет (16). В ходе 6-летнего наблюдения отмечен стабильный градиент на уровне 15 мм рт. ст. несмотря на узкий корень аорты в 90,7% случаев. Выживаемость составила 87% с исключительно некардиальной летальностью.

### Модификации методики Озаки

Развитием метода стало выполнение Nguyen и соавт. операции из министернотомии с торакоскопическим забором аутоперикарда и периферическим подключением аппарата искусственного кровообращения (17). Rosseykin и соавт. доказали, что основным статистически значимым преимуществом в этом случае является снижение суммарной кровопотери (18).

Еще одна модификация операции Озаки была разработана Komarov с соавт. и представляет собой гибридную операцию Дэвида и Бенталла для одновременной коррекции аортального порока и протезирования аорты. Модификация заключается в имплантации створок из аутоперикарда в сосудистый протез с последующим замещением корня аорты и ее восходящего отдела тахим графтом (19).

## Заключение

Методика проведения пластики аортального клапана аутоперикардом по Озаки имеет надежную физиологическую базу, заключающуюся в увеличении высоты зоны коаптации и сохранении естественного движения кольца аортального клапана. Кроме того, обработанные глутаральдегидом аутоперикардальные нео-створки имеют повышенную устойчивость к растяжению. В связи с этим указанный метод является достойной альтернативой протезированию аортального клапана, позволяю-

щей корректировать практически весь спектр патологии аортального клапана.

## Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

## Информация о финансировании

Финансирование исследования за счет средств автора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. lung B., Baron G., Butchart E. G., Delahaye F., Gohlke-Вдрwolf C., Levang O. W., et al. A prospective survey of patients with valvular heart disease in Europe: The Euro Heart Survey on valvular heart disease. *Eur Heart J.* 2003;24(13):1231–43.
2. Pibarot P., Dumesnil J. G. Prosthetic heart valves: Selection of the optimal prosthesis and long-term management. *Circulation.* 2009;119(7):1034–48.
3. Smith C. R., Leon M. B., Mack M. J., Miller D. C., Moses J. W., Svensson L. G., et al. Transcatheter versus Surgical Aortic-Valve Replacement in High-Risk Patients. *N Engl J Med.* 2011;364(23):2187–98.
4. Hoffmann G., Lutter G., Cremer J. Durability of bioprosthetic cardiac valves. *Dtsch Arztebl.* 2008;105(8):143–8.
5. Adams D. H., Chen R. H., Kadner A., Aranki S. F., Allred E. N., Cohn L. H., et al. Impact of small prosthetic valve size on operative mortality in elderly patients after aortic valve replacement for aortic stenosis: Does gender matter? *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1999;118(5):815–22.
6. Croon S. I., Angkasuwan A., van Straten A. H., Khamooshian A., Elenbaas T. W., Soliman-Hamad MA. Surgical treatment and long-term outcome of aortic valve endocarditis with periannular abscess. *Netherlands Hear J.* 2020;28(6):345–53.
7. Taylor W. J., Thrower W. B., Black H., Harken D. E. The surgical correction of aortic insufficiency by circumclusion. *J Thorac Surg. United States;* 1958 Feb;35(2):192–205 passim.
8. Cabrol C, Cabrol A, Guiraudon G, Bertrand M. [Treatment of aortic insufficiency by means of aortic annuloplasty]. *Arch Mal Coeur Vaiss. France;* 1966 Sep;59(9):1305–12.
9. Lansac E., Di Centa I., Sleilaty G., Lejeune S., Berrebi A., Zacek P., et al. Remodeling root repair with an external aortic ring annuloplasty. *J Thorac Cardiovasc Surg. Elsevier Inc.;* 2017;153(5):1033–42.
10. Lansac E., Di Centa I., Raoux F., Bulman-Fleming N., Ranga A., Abed A., et al. An expansible aortic ring for a physiological approach to conservative aortic valve surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2009;138(3):718–24.
11. Baumgartner H., Falk V., Bax J. J., De Bonis M., Hamm C., Holm P. J., et al. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. Vol. 38, *European Heart Journal.* 2017. 2739–2786 p.
12. Beckmann A., Meyer R., Lewandowski J., Markewitz A., Harringer W. German heart surgery report 2018: The annual updated registry of the german society for thoracic and cardiovascular surgery. *Thorac Cardiovasc Surg.* 2019;67(5):331–44.
13. Ozaki S, Kawase I, Yamashita H, Uchida S, Nozawa Y, Matsuyama T, et al. Aortic valve reconstruction using self-developed aortic valve plasty system in aortic valve disease. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2011;12(4):550–3.
14. Duran C. M. G., Gometza B., Kumar N, Gallo R, Martin-Duran R. Aortic valve replacement with freehand autologous pericardium. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1995;110(2):511–6.
15. Ozaki S, Kawase I, Yamashita H, Uchida S, Takatoh M, Kiyohara N. Midterm outcomes after aortic valve neocuspidization with glutaraldehyde-treated autologous pericardium. *J Thorac Cardiovasc Surg. Elsevier Inc.;* 2018;155(6):2379–87.
16. Ozaki S, Kawase I, Yamashita H, Uchida S, Nozawa Y, Takatoh M, et al. Aortic valve reconstruction using autologous pericardium for ages over 80 years. *Asian Cardiovasc Thorac Ann.* 2014;22(8):903–8.
17. Nguyen D. H., Vo A. T., Le K. M., Vu T. T., Nguyen T. T., Vu T. T., et al. Minimally Invasive Ozaki Procedure in Aortic Valve Disease: The Preliminary Results. *Innov Technol Tech Cardiothorac Vasc Surg.* 2018;13(5):332–7.
18. Россейкин Е. В., Кобзев Е. Е., Базылев В. В. Операция Ozaki из мини-доступа // *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2019; № 3 с 142–155.
19. Komarov R, Chernov I, Enginiov S, Michel Pompeu B.O S6, Tarasov D. The russian conduit — combining bentall and ozaki procedures for concomitant ascending aorta replacement and aortic valve neocuspidization. *Brazilian J Cardiovasc Surg.* 2019;34(5):618–23.

© Моисеев Алексей Александрович ( alexi.moiseev@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ОЦЕНКА РОЛИ МЕДИЦИНСКИХ ОШИБОК В СУДЕБНО-МЕДИЦИНСКИХ ЭКСПЕРТИЗАХ ЗА ПЕРИОД 2009–2019 ГГ.

**Мошенская Светлана Петровна**

К.м.н., врач — судебно-медицинский эксперт,  
ГБУЗ «Бюро судебно-медицинской экспертизы»  
Департамента здравоохранения города Москвы  
tsp-12@list.ru

**Савельева Марина Ивановна**

Д.м.н., профессор, ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава  
России, Москва  
marinasavelyeva@mail.ru

### ASSESSMENT OF THE ROLE OF MEDICAL ERRORS IN FORENSIC EXAMINATIONS FOR THE PERIOD 2009–2019

**S. Moshenskaya  
M. Savelyeva**

*Summary.* Medical errors are a serious public health problem. By recognizing the adverse events that occur, learning from them, and working to prevent them, you can improve patient safety. The topic of patient safety is of scientific interest, and not only in the narrow professional environment of clinical doctors, but also specialists of related specialties, for example, forensic medical experts involved in the production of examinations in medical cases. The article analyzes the commission forensic medical examinations (CME) conducted by the authors of this article for the period 2009–2019. The structure of the CME commission is dominated by deceased patients, and by gender composition — women. The age structure of the SME commission structure is relatively young, with children accounting for 25%. It was revealed that in the structure of all SMEs conducted over a 10-year period, medical examinations predominate (68%). The frequency of medical errors proved by the CME was 24%. Thus, the development of a strategy aimed at preventing harm to patients can lead to significant improvements in medical care and significant savings in health systems.

*Keywords:* medical errors, defects in the provision of medical care, commission forensic medical examination.

*Аннотация.* Медицинские ошибки являются серьезной проблемой общественного здравоохранения. Распознавая происходящие неблагоприятные события, учась на них и работая над их предотвращением, можно повысить безопасность пациентов. Тема безопасности пациентов представляет научный интерес, причем не только в узкой профессиональной среде клинических врачей, но и специалистов смежных специальностей, например, судебно-медицинских экспертов, участвующих в производстве экспертиз по медицинским делам. В статье проанализированы комиссионные судебно-медицинские экспертизы (СМЭ), проведенные авторами данной статьи за период 2009–2019 гг. В структуре комиссионных СМЭ преобладают умершие пациенты, а по половому составу — женщины. Возрастной состав структуры комиссионных СМЭ относительно молодой, дети составили 25%. Выявлено, что в структуре всех СМЭ, проведенных за 10-ти летний период, преобладают экспертизы по медицинским делам (68%). Частота встречаемости медицинских ошибок, доказанных проведением СМЭ составила 24%. Таким образом, разработка стратегии, направленной на предотвращение вреда для пациентов, может привести к значительному улучшению медицинского обслуживания и значительной экономии средств систем здравоохранения.

*Ключевые слова:* медицинские ошибки, дефекты оказания медицинской помощи, комиссионная судебно-медицинская экспертиза.

### Актуальность

**М**едицинские ошибки являются серьезной проблемой общественного здравоохранения, что связано с трудностью выявления причин ошибок и, даже если они найдены, с обеспечением согласованного жизнеспособного их решения, минимизирующего вероятность повторения неблагоприятных событий. Распознавая происходящие неблагоприятные события, учась на них и работая над их предотвращением, можно повысить безопасность пациентов и качество медицинской помощи [1]. Медицинские организации должны создать культуру безопасности, которая фоку-

сируется на совершенствовании системы, рассматривая медицинские ошибки как проблемы, которые необходимо преодолеть. Весь медицинский персонал должен сыграть свою роль в обеспечении безопасности медицинского обслуживания, как пациентов, так и медицинских работников [2].

Один из самых сложных вопросов современной системы здравоохранения: «Что является медицинской ошибкой?» — остается без четко определенного ответа. Из-за нечетких определений в терминологии «медицинские ошибки» ее трудно измерить с научной точки зрения. Отсутствие стандартизированной номенклатуры

и частично совпадающих определений медицинских ошибок затрудняет анализ, обобщение и оценку данных.

Существует два основных типа ошибок:

1. Ошибки бездействия, которые возникают в результате невыполненных действий. Примерами являются не привязывание пациента к инвалидной коляске или стабилизация каталки перед переносом пациента.
2. Ошибки, которые возникают в результате неправильных действий. Примеры включают введение лекарственного средства, на которое у пациента имеется известная аллергия, или отсутствие маркировки лабораторного образца, который впоследствии приписывают не тому пациенту.

Медицинские работники испытывают глубокие негативные психологические проблемы, такие как гнев, вина, неадекватность, депрессия и самоубийство из-за реальных или предполагаемых ошибок. К сожалению, отсутствие сообщений об ошибках повышает вероятность серьезного вреда для пациента. Во многих медицинских учреждениях действует жесткая политика, которая также создает неблагоприятную среду. Это может привести к тому, что персонал не решится сообщить об ошибке, свести к минимуму проблему или даже не сможет задокументировать проблему. Эти действия или их отсутствие могут способствовать развитию цикла медицинских ошибок. Когда эти ошибки обнаруживаются, они могут запятнать репутацию учреждения здравоохранения и его работников [3].

Некоторые эксперты считают, что термин «ошибка» является чрезмерно негативным, антагонистическим и увековечивает культуру вины. Профессионал, чья уверенность и моральный дух были подвергнуты сомнению в результате ошибки, может работать менее эффективно или даже может отказаться от продолжения медицинской карьеры. Многие эксперты предполагают, что термин «ошибка» не следует использовать вообще. Тем не менее, неблагоприятные исходы для пациента могут возникнуть именно из-за ошибок, поэтому исключить термин, скрывающий цель предотвращения и устранения его причин и следствий, не представляется возможным [4].

Ошибки, независимо от номенклатуры, обычно происходят из-за влияния множества факторов. Общественная и законодательная нетерпимость к медицинским ошибкам обычно иллюстрирует отсутствие понимания того, что некоторые ошибки, на самом деле, невозможно предотвратить с помощью современных технологий или ресурсов, доступных для практикующего врача. Человеческий фактор всегда является проблемой, и выявление ошибок позволяет предпринять стратегии улучшения.

В частности, обвинение или наказание отдельных лиц за ошибки, вызванные системными причинами, не устраняет причины и не предотвращает повторение ошибки.

Предотвратимые медицинские ошибки вносят существенный вклад в расходы на здравоохранение, включая более высокие расходы на медицинское страхование человека. Только медицинские работники, работающие вместе, смогут снизить затраты и трагические последствия, связанные с медицинскими ошибками. Так, например, Объединенная медицинская комиссия по безопасности пациентов представила несколько целей, которые смогли бы помочь учреждениям и практикующим врачам в создании более безопасной среды для пациентов и поставщиков медицинских услуг [5]. Цели Объединенной комиссии включают в себя: определение опасностей и рисков для безопасности пациентов; правильное идентифицирование пациентов, подтверждая личность, по крайней мере, двумя способами; улучшение коммуникации, например, быстрое получение результатов теста для конкретного пациента; предотвращение внутрибольничной инфекции с помощью мытья рук, применения антибиотиков после операции, смены катетера и мер предосторожности при постановке центральных катетеров; предотвращение ошибки в хирургии, удостоверившись, что правильная операция сделана на правильной части тела; пауза перед операцией для двойной проверки; использование устройств сигналов тревоги с возможностью убедиться, что сигналы тревоги на медицинском оборудовании услышаны и быстро проверены; использование лекарств правильно и безопасно, если дважды проверяется маркировка и правильно передаются лекарства пациенту или следующему поставщику; маркировка всех лекарств, даже тех, что в шприце, что предпочтительно делать в том месте, где готовятся лекарства; необходимо использовать дополнительное время с пациентами, которым были назначены антикоагулянты и химиотерапевтические агенты; чтобы предотвратить внутрибольничные инфекции, мытье рук должно быть обычным делом до и после посещения каждого пациента. Несмотря на то, что отдельные поставщики медицинских услуг должны нести ответственность за свои решения, растет понимание того, что большинство ошибок находятся вне контроля врача [6].

При этом по-прежнему сложно изменить культуру отсутствия документальной отчетности. Отказ сообщить об ошибках может привести к дисциплинарному взысканию клиницистов и повышению риска юридической ответственности. Вместо того чтобы обвинять, администраторы и наблюдательные советы медицинских организаций должны стремиться к устранению структуры дисциплинарных обвинений и позора и двигаться к структуре профилактики и образования. Эта культура включает в себя как усилия по обучению, так и самосо-

вершенствованию, нацеленные на перепроектирование системы, и культуру отчетности, благодаря которой все поставщики медицинских услуг чувствуют себя в безопасности от возмездия и, следовательно, сообщают о проблемах безопасности, которые помогают постоянно улучшать уход за пациентами и повышать безопасность системы [7].

Итак, оценка и суждение человека могут включать ошибки, которые могут привести к катастрофическим последствиям. Однако в области медицины и здравоохранения наблюдается медленный прогресс в направлении серьезных изменений в безопасности. Здравоохранение отстает от других специализированных отраслей, таких как авиация и атомная энергетика, где значительно улучшена общая безопасность, особенно в снижении риска ошибок. После нескольких громких случаев заболевания, связанного с медицинскими ошибками, в США в 1990-х годах был опубликован отчет под названием «Человеку свойственно ошибаться: построение более безопасной системы здравоохранения» [8]. В отчете было представлено, что в США ежегодно от 50 до 100 тысяч пациентов могут умереть в результате врачебных ошибок.

В медицинском сообществе наблюдается повышенная осведомленность о безопасности пациентов это стало основным приоритетом. Акцент сместился с распределения вины медицинского персонала на предотвращение ошибок и внедрение механизмов обеспечения безопасности пациентов при оказании медицинской помощи. Тип ошибок можно разделить на ошибки из-за действий и ошибок из-за знаний или планирования. В здравоохранении существует несколько факторов, которые могут влиять на побочные эффекты и безопасность пациента. Хотя технология может повысить безопасность пациентов, она также вводит новые источники ошибок. Умение работать с людьми позволяет увеличить безопасность. Было показано, что командная работа оказывает благотворное влияние на безопасность пациентов [8].

По данным журнала *British Medical Journal* [9] приблизительно один из 20 (6%) пациентов при оказании медицинской помощи страдает от врачебной ошибки, которой можно было избежать. У 12% из этих пациентов развивается пожизненная инвалидность или наступает смерть. Наибольшее количество таких врачебных ошибок связано с применением медицинских препаратов и инвазивных процедур, и чаще это происходит в отделениях хирургии и интенсивной терапии, чем в отделениях общего профиля. По данным группы исследователей под руководством М. Panagioti из Манчестерского университета, включающих 70 наблюдательных исследований с участием 337025 преимущественно взрослых

пациентов, оценена распространенность предотвратимого вреда для пациентов в различных медицинских учреждениях, включая больницы и учреждения первичной медицинской помощи. Они также исследовали степень тяжести и наиболее распространенные виды предотвратимого вреда для пациентов. Так выявлено, что при лечении 28150 пациентов были допущены опасные врачебные ошибки, а 15419 пациентам был нанесен предотвратимый вред. В 12% случаев был нанесен серьезный предотвратимый вред (вызывающий длительную, пожизненную инвалидность или смерть). В 23% случаев он был связан с хирургическим вмешательством, в 16% случаев имело место инфицирование пациентов, 49% были связаны с применением лекарств или других методов. По сравнению с больницами общего профиля предотвратимый вред был более распространенным в отделениях хирургической и интенсивной терапии, а реже всего такие случаи происходили в акушерских отделениях [9].

В обзорном исследовании Shah R.K. с соавторами [10], в котором использовался анонимный онлайн-опрос среди членов Американской академии отоларингологии и хирургии головы и шеи (AAO-HNS), было показано, что из 681 респондента 445 (66%) сообщили о событии за последние 6 месяцев, из которых было отобрано для последующего анализа 222 сообщения. Средний возраст пострадавших пациентов составил  $41 \pm 24$  года. Неблагоприятные последствия имели место более чем в половине случаев, а корректирующие меры были приняты в 82,8% случаев. Из опрошенных 68% врачей впоследствии изменили свою практику. Домены с наибольшим количеством зарегистрированных ошибок были техническими (27,9% от всех событий, 71% с большой заболеваемостью), административными (12,2%, 3,7% соответственно), диагностическими тестами (10,8%, 8,3% соответственно) и хирургическим планированием (9,9%, 45,5% соответственно). Было выявлено 8 операций в неправильном месте, 23 повреждения черепных нервов (91,3% основных заболеваний) и 9 ошибок во время эндоскопической операции на пазухах (55,6% основных заболеваний). Было зафиксировано 4 смерти. Исследователи сделали вывод о том, что отоларингологи остаются уязвимыми к ошибкам и связанным с ними нежелательным явлениям. Домены с наибольшим риском серьезных заболеваний, связанных с ошибками, мало изменились за 10-ти летний период и включают ошибки в техническом, административном, диагностическом тестировании, хирургическом планировании и хирургическом оборудовании. Осведомленность о зонах повышенного риска может помочь сосредоточить профилактические усилия в этих областях [10].

Таким образом, тема безопасности пациентов в различных областях медицины и здравоохранения пред-

Таблица 1. Сводные данные по СМЭ за 2009–2019 гг.

Год	Кол-во СМЭ (n/%)	Мужч. (n/%)	Женщ. (n/%)	Живые (n/%)	Умершие (n/%)	Вскрытие было (n/%)	Вскрытия не было (n/%)	Мед. ошибки есть (n/%)	Отриц. юр. исход (n/%)
2009	4/0,98	1/0,7	3/1,13	1/0,64	3/1,19	2/1,21	2/0,82	1/1,14	1/1,79
2010	20/4,89	14/9,8	6/2,26	12/7,69	8/3,16	12/7,27	8/3,28	4/4,55	4/7,14
2011	109/26,7	14/9,8	95/35,7	15/9,62	94/37,2	15/9,09	94/38,5	10/11,4	4/7,14
2012	41/10,02	13/9,09	28/10,5	19/12,2	22/8,7	19/11,5	22/9,02	12/13,6	5/8,93
2013	19/4,65	8/5,59	11/4,14	8/5,13	11/4,35	13/7,87	6/2,46	4/4,55	2/3,57
2014	46/11,25	16/11,2	30/11,3	25/16,0	21/8,3	25/15,2	21/8,61	15/17,1	10/17,9
2015	34/8,31	18/12,6	16/6,02	18/11,5	16/6,32	18/10,9	16/6,56	7/7,95	3/5,36
2016	24/5,87	13/9,09	11/4,14	11/7,05	13/5,14	11/6,67	13/5,33	4/4,55	13/23,2
2017	35/8,56	16/11,2	19/7,14	13/8,33	22/8,7	14/8,48	21/8,61	7/7,95	6/10,71
2018	40/9,78	15/10,5	25/9,4	19/12,2	21/8,3	21/12,7	19/7,79	10/11,4	8/14,29
2019	37/9,05	15/10,5	22/8,27	15/9,62	22/8,7	15/9,09	22/9,02	14/15,9	9/16,07
Итого	409/100	143/100	266/100	156/100	253/100	165/100	244/100	88/100	56/100

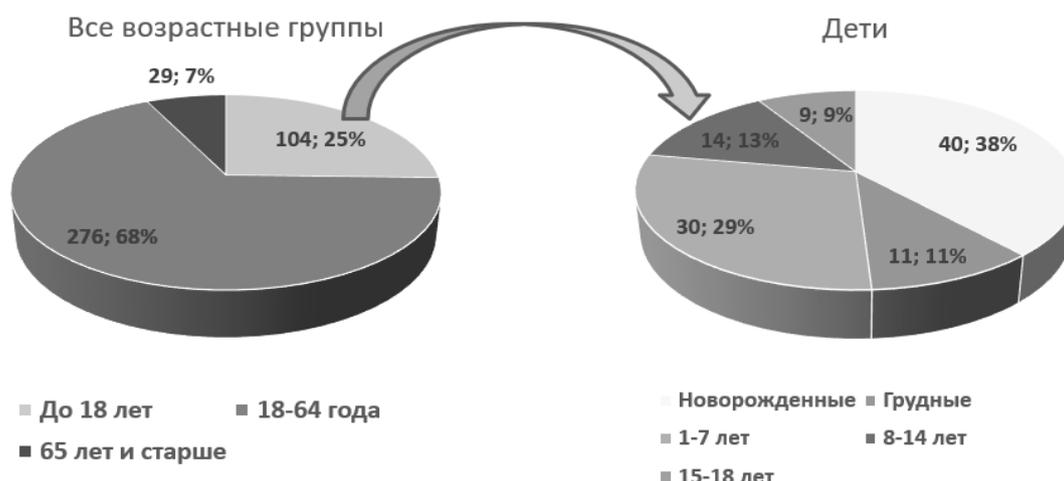


Рис. 1. Структура возрастных групп по всем СМЭ за период 2009–2019 гг.

ставляет научный интерес, причем не только в узкой профессиональной среде врачей различных специальностей причем как хирургических так и терапевтических, но и специалистов смежных специальностей, например, судебно-медицинских экспертов, участвующих в производстве экспертиз по медицинским делам.

**Цель исследования**

Исследование судебно-медицинских экспертиз по уголовным и гражданским делам связанным с правонарушениями медицинских работников за 10-ти летний период с анализом причин и поиском путей профилактики их развития для построения системы защиты профессиональной медицинской деятельности в Российской Федерации.

**Задачи исследования**

Выявить распространенность и динамику СМЭ по уголовным и гражданским делам связанным с правонарушениями медицинских работников среди насильственных и ненасильственных смертей по всем СМЭ, проведенным за период 2009–2019 гг.;

Определить структуру медицинских ошибок в рамках судебно-медицинской практики;

Проанализировать причины, приводящие к ошибкам в профессиональной медицинской деятельности;

Провести анализ медицинских дефектов оказания МП в рамках сложных СМЭ, связанных с применением ЛС.



Рис. 2. Структура всех СМЭ, проведенных за период 2009–2019 гг. (n=409).



Рис. 3. Анализ известных юридических исходов по медицинским делам СМЭ за 2009–2019 гг. (n=86).

### Материалы и методы исследования

Проведен ретроспективный анализ сложных судебно-медицинских экспертиз, проведенных авторами за период 2009–2019 гг. Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программы Statistica 10.0 (StatSoft, Inc). Использовались методы описательной статистики. Осуществляли проверку нормальности распределения количественных призна-

ков. Критическое значение уровня статистической значимости принимали равным 5%.

### Результаты исследования

Всего нами проанализировано 409 комиссионных судебно-медицинских экспертиз (СМЭ) за период 2009–2019 гг. (10 лет), сводные данные которых представлены в таблице 1 в количественном и процентном выражении (n/%).

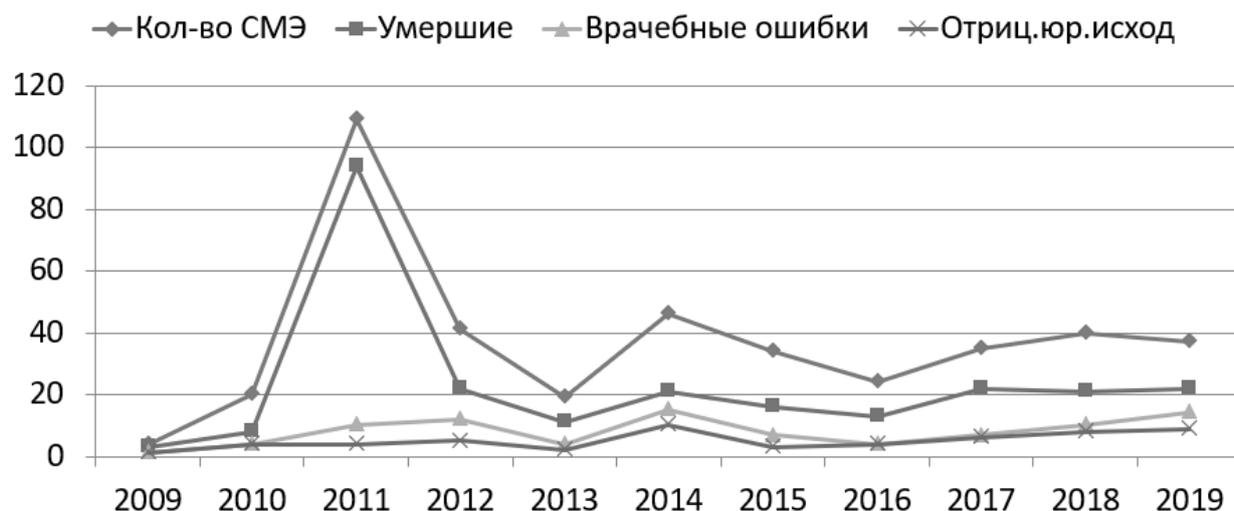


Рис. 4. Динамика СМЭ по общему количеству умерших, наличию связей с врачебными ошибками и отрицательным юридическим исходом (осуждение врачей и материальная компенсация) за 10 лет в абс. ч. (n=409).

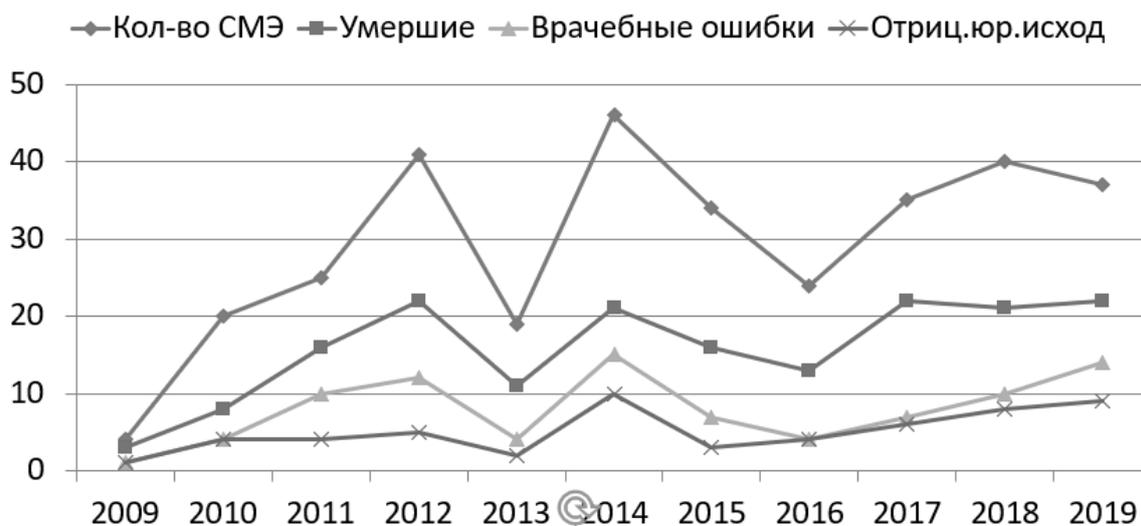


Рис. 5. Динамика СМЭ по общему количеству умерших, наличию связей с врачебными ошибками и отрицательным юридическим исходом (осуждение врачей и материальная компенсация) за 10 лет в абс. ч. (n=325, без СМЭ катастрофы на шахте «Распадская»).

Сначала нами были определены общие характеристики по выборке (n=409), а именно: возраст от 0 года до 85 лет; медиана возраста — 32 года; средний возраст (M±m) 31,96±17,17. Структура возрастных групп представлена на рисунке 1.

Распределение по полу было следующим: 35% мужчин и 65% женщин. Все СМЭ разделялись по живым (38%) и умершим (62%), а также по факту проведения патолого-анатомического или судебно-медицинского вскрытия: вскрытие проводилось в 60% случаев.

В структуре всех комиссионных СМЭ, проведенных за 10-ти летний период и представленной на рисунке 2, преобладают экспертизы по медицинским делам (68%). На втором месте по распространенности идут СМЭ по идентификации личности после катастроф — в 23% случаев, а на последнем — СМЭ по уголовным делам (убийства, самоубийства и др.) в 9% случаев. Учитывая тот факт, что катастрофы в мирное время, как правило, носят случайный, но массовый характер, то доля СМЭ по медицинским делам может значительно увеличиться. Так в нашей выборке СМЭ по идентификации лично-

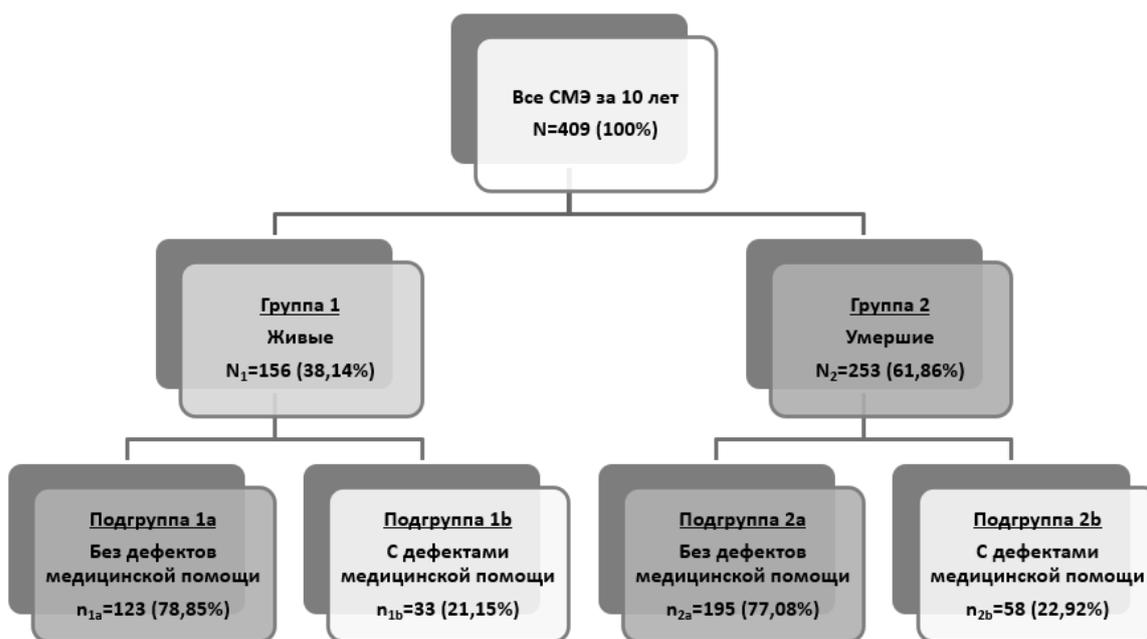


Рис. 6. Схема анализа всех СМЭ в группах и подгруппах.

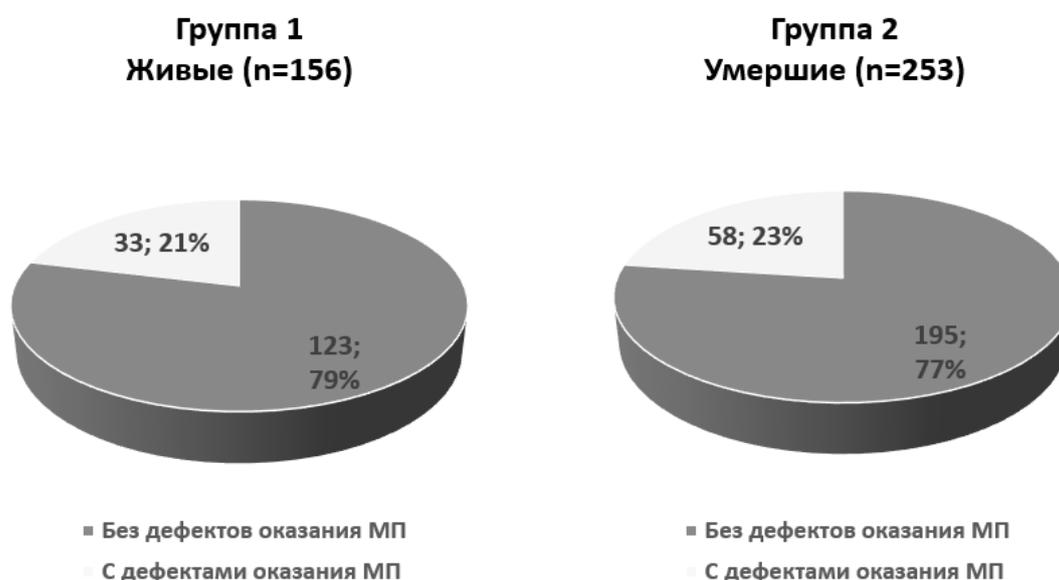


Рис. 7. Сравнение распространенности в подгруппах с и без дефектов оказания МП.

сти/оценке причин смерти у погибших (n=78) и оценке ущерба здоровью у выживших (n=6) после катастрофы на шахте «Распадская», произошедшей в 2011 году, составили всего 84 экспертизы, а также 8 экспертиз погибших в авиакатастрофе в 2012 году, т.е. всего 92 СМЭ по катастрофам.

При анализе отдельной выборки по медицинским делам (n=279) нами обнаружено, что медицинские

ошибки встречались в 24% случаев (n=68) против 76% случаев (n=211), когда медицинские ошибки в процессе проведения СМЭ не были доказаны. При этом только в 31% случаев были известны юридические исходы по гражданским и уголовным делам против 69% случаев, когда данная информация оказалась недоступной для анализа. Однако мы детализировали известные юридические исходы и обнаружили (Рис. 3), что отрицательных юридических исходов, к которым относятся



Рис. 8. Сравнение распространенности юридических исходов в подгруппах с дефектами оказания МП.

осуждение медицинских работников, в том числе обвинительное заключение суда (моральный ущерб), а также материальная компенсация (финансовый ущерб) за 10-ти летний период составили 62%, т.е. больше половины.

Далее нами проанализирована динамика СМЭ по общему количеству умерших, наличию связей с врачебными ошибками и отрицательным юридическим исходом (осуждение врачей и материальная компенсация) за 10 лет в абс. ч. (n=409) (Рис. 4).

При анализе обнаружено, что выраженной динамики роста числа СМЭ по умершим, числу врачебных ошибок и отрицательным юридическим исходам не отмечается, за исключением 2011 года в связи с проведением СМЭ по катастрофе на шахте «Распадская». Однако при проведении повторного анализа, но уже с исключением СМЭ по катастрофе на шахте «Распадская» (Рис. 5), нами было обнаружено, что при увеличении общего числа СМЭ по годам за 10-ти летний период отмечается незначительная динамика роста числа СМЭ по умершим и числу врачебных ошибок, но практически отсутствует динамика по отрицательным юридическим исходам.

Дальнейший анализ был проведен в двух группах (живых и умерших), в каждой из которых были выделены две подгруппы (без дефектов оказания медицинской помощи и с дефектами оказания медицинской помощи), представленных на рисунке 6. В результате оказалось,

что среди всех СМЭ за 10-ти летний период преобладают экспертизы по умершим пациентам (группа 2), которые составляют 61,86%, и что на 23,72% больше, чем экспертиз по живым пациентам (группа 1).

При этом выявлено, что частота распространенности СМЭ с доказанными дефектами оказания медицинской помощи (МП) в группах живых и умерших практически не различается и составляет 21,15% и 22,92% соответственно, а в преобладающем большинстве СМЭ за 10-ти летний период не обнаружены дефекты оказания МП (78,85% и 77,08% соответственно) (Рис. 7).

При сравнении юридических исходов в подгруппах с дефектами оказания МП двух групп — живых и умерших нами обнаружены различия, наглядно показанные на рисунке 8.

Распространенность всех отрицательных юридических исходов достоверно преобладает в подгруппе 1b (живые) и составляет 81,82%, что на 30,1% выше, чем в подгруппе 2b (умершие), для которой данный параметр составляет 51,72%. Однако осужденных медиков на 22,31% больше в подгруппе 2b (46,55% vs 24,24%), а материальных компенсаций — наоборот больше на 54,13% в подгруппе 1b (57,58% vs 3,45%). Таким образом, более тяжелые юридические последствия в виде обвинительного приговора со сроками тюремного заключения связаны с более тяжелыми последствиями причинения вреда здоровью в виде смерти, и соответственно более легкие юридические последствия в виде материальной

компенсации связаны с ущербом здоровью, не приведшим к летальному исходу в результате оказания медицинской помощи.

### Выводы

В возрастной структуре всех сложных СМЭ преобладает группа лиц среднего возраста (67,48%), однако значительно представлена группа детей (25,43%), среди которых доминируют новорожденные (40%), а возрастная группа до 1 года жизни, включая и новорожденных, представлена в 51% случаев.

В структуре всех сложных СМЭ, проведенных за 10-ти летний период, преобладают экспертизы по медицинским делам (68%); идентификация личности после катастроф составила 23%, а СМЭ по насильственным действиям — 9%.

Среди всех СМЭ за 10-ти летний период преобладают экспертизы по умершим пациентам (группа 2) и составляют 61,86% и что 23,72% больше, чем экспертиз по живым пациентам (группа 1). Частота распространенности СМЭ с доказанными дефектами оказания медицинской помощи (МП) в группах живых и умерших практически не различается и составляет 21,15% и 22,92% соответ-

ственно, а в преобладающем большинстве СМЭ за 10-ти летний период не обнаружены дефекты оказания МП (78,85% и 77,08% соответственно).

Частота встречаемости врачебных ошибок, доказанных проведением СМЭ составила 24%.

Отрицательные юридические исходы в виде осуждения врачей или материальной компенсации встречались всего в 65% случаев среди всех известных юридических исходов. Распространенность отрицательных юридических исходов достоверно преобладает у живых пациентов с дефектами оказания МП и составляет 81,82%, что на 30,1% выше, чем у умерших пациентов с дефектами оказания МП, для которой данный параметр составляет 51,72%. Однако осужденных медиков на 22,31% оказалось больше у умерших с дефектами оказания МП (46,55% vs 24,24%), а материальных компенсаций — наоборот больше на 54,13% у живых с дефектами оказания МП (57,58% vs 3,45%).

При увеличении общего числа СМЭ по годам за 10-ти летний период отмечается незначительная динамика роста числа СМЭ по умершим и числу врачебных ошибок, но практически отсутствует динамика по отрицательным юридическим исходам.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Oyebo F. Clinical errors and medical negligence. *Med Princ Pract.* 2013;22(4):323–33. [PMC free article] [PubMed]
2. Helo S, Moulton CE. Complications: acknowledging, managing, and coping with human error. *Transl Androl Urol.* 2017 Aug;6(4):773–782. [PMC free article] [PubMed]
3. Robertson JJ, Long B. Suffering in Silence: Medical Error and its Impact on Health Care Providers. *J Emerg Med.* 2018 Apr;54(4):402–409. [PubMed]
4. Battard J. Nonpunitive response to errors fosters a just culture. *Nurs Manage.* 2017 Jan;48(1):53–55. [PubMed]
5. Mascioli S, Carrico CB. Spotlight on the 2016 National Patient Safety Goals for hospitals. *Nursing.* 2016 May;46(5):52–5. [PubMed]
6. Delacroix R. Exploring the experience of nurse practitioners who have committed medical errors: A phenomenological approach. *J Am Assoc Nurse Pract.* 2017 Jul;29(7):403–409. [PubMed]
7. Thomas L, Rodziewicz J, Hipskind E. Medical Error Prevention [PubMed] Last Update: May 5, 2019. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499956/>
8. Danino J, Muzaffar J, Metcalfe C, Coulson C. Patient safety in otolaryngology: a descriptive review. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2017 Mar;274(3):1317–1326. doi: 10.1007/s00405-016-4291-z. Epub 2016 Sep 13.
9. <https://medportal.ru/mednovosti/news/2019/07/19/400harm/>

© Мошенская Светлана Петровна ( [tsp-12@list.ru](mailto:tsp-12@list.ru) ), Савельева Марина Ивановна ( [marinasavelyeva@mail.ru](mailto:marinasavelyeva@mail.ru) ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## СЫВОРОТОЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СИСТЕМЫ ЦИТОКИНОВ У БОЛЬНЫХ ХГ С

**Мусхаджиев Алимхан Абухаджиевич**

К.м.н., ассистент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» МЗ РФ  
muskhadzhiyev76@list.ru

### SERUM INDICATORS OF THE CYTOKINE SYSTEM IN PATIENTS WITH CHRONIC HEPATITIS C

**A. Muskhadzhiyev**

**Summary.** The article shows that the assessment of serum levels of TGF- $\beta$ 1 and TIMP-1 provides new information for characterizing the activity and stage of chronic hepatitis C. Dynamics of serum levels of TGF- $\beta$ 1 and TIMP-1 serves as an informative test for monitoring the effectiveness of treatment of patients with chronic hepatitis C with INF-a drugs. and ribavirin.

**Keywords:** cytokines, blood serum, clinical features, genotype, asthenic syndrome.

**Аннотация.** В статье показано, что оценка сывороточных уровней TGF- $\beta$ 1 и ТИМП-1 дает новую информацию для характеристики активности и стадии ХГ С. Динамика сывороточных уровней TGF- $\beta$ 1 и ТИМП-1 служит информативным тестом для контроля эффективности лечения больных ХГ С препаратами ИНФ-а и рибавирина.

**Ключевые слова:** цитокины, сыворотка крови, клинические особенности, генотип, астенический синдром.

**И**сследование уровня цитокинов TGF- $\beta$ 1 и ТИМП-1 в сыворотке крови проведено 150 больным ХГ С в возрасте от 19 до 59 лет (средний возраст  $36,7 \pm 9,2$  лет) на базе медицинского центра «Гепар» г. Махачкала. При этом установлено: содержание TGF- $\beta$ 1 было повышено у 103 (68,7%) больных, понижено у 20 (13,3%) и соответствовало показателям здоровых лиц у 27 (18,0%) больных ХГ С. Среднее значение TGF- $\beta$ 1 составило  $529,8 \pm 118,8$  пг/мл., что значимо ( $p < 0,01$ ) повышено по сравнению с соответствующими данными контрольной группы ( $257,3 \pm 58,9$  пг/мл.).

Содержание ТИМП-1 в сыворотке крови было повышено у 114 (76%) больных ХГС, понижено у 17 (11,3%) и соответствовало показателям группы контроля у 19 (12,7%). Средний показатель ТИМП-1 также достоверно ( $p < 0,01$ ) отличался от такового контрольной группы ( $736,9 \pm 149,8$  и  $458,6 \pm 76,3$  нг/мл., соответственно) (таблица 1).

Таким образом, у больных ХГ С показатели цитокинов TGF- $\beta$ 1 и ТИМП-1 в сыворотке крови были значимо повышены по сравнению с соответствующими значениями контрольной группы.

Изучение уровня исследованных цитокинов в зависимости от пола, возраста больных, путей инфицирования ХГ С значимой разницы не выявило.

При исследовании содержания цитокинов в зависимости от длительности заболевания установлено, что при анамнезе болезни более 10 лет показатели TGF- $\beta$ 1 и ТИМП-1 были повышены по сравнению с таковыми с более коротким анамнезом. Но при изучении корреляционных взаимосвязей достоверной разницы при этом не выявлено ( $r = 0,20$ ,  $r = 0,24$ ,  $p > 0,05$ , соответственно) (таблица 2).

Изучение содержания цитокинов в сыворотке крови в зависимости от выраженности астенического синдрома показало, что при оценке степени астении в 1 балл уровень TGF- $\beta$ 1 и ТИМП-1 были повышены по сравнению с соответствующими значениями больных в 0 баллов. При изучении корреляционных связей установлено наличие прямой связи между TGF- $\beta$ 1 и ТИМП-1, с одной стороны, и выраженностью астенического синдрома, с другой, но при этом достоверной взаимосвязи не выявлено ( $r = 0,32$ ,  $p > 0,05$ ,  $r = 0,26$ ,  $p > 0,05$ , соответственно) (рис. 1).

Таблица 1. Содержание цитокинов в сыворотке крови больных ХГ С (M±SD)

Группа	TGF-β1, пг/мл.	ТИМП-1, нг/мл.
Больные ХГ С, n=150	529,8±118,8	736,9±149,8
Здоровые, n=35	257,3±58,9	458,6±76,3
Значение p	p<0,01	p<0,01

Таблица 2. Содержание цитокинов в сыворотке крови у больных ХГ С в зависимости от длительности заболевания (M±SD)

Анамнез болезни	TGF-β1, пг/мл.	ТИМП-1, нг/мл.
До 10 лет	584,2±108,4	784,8±132,4
Более 10 лет	652,3±132,2	842,2±154,8
Значение p	p>0,05	p>0,05

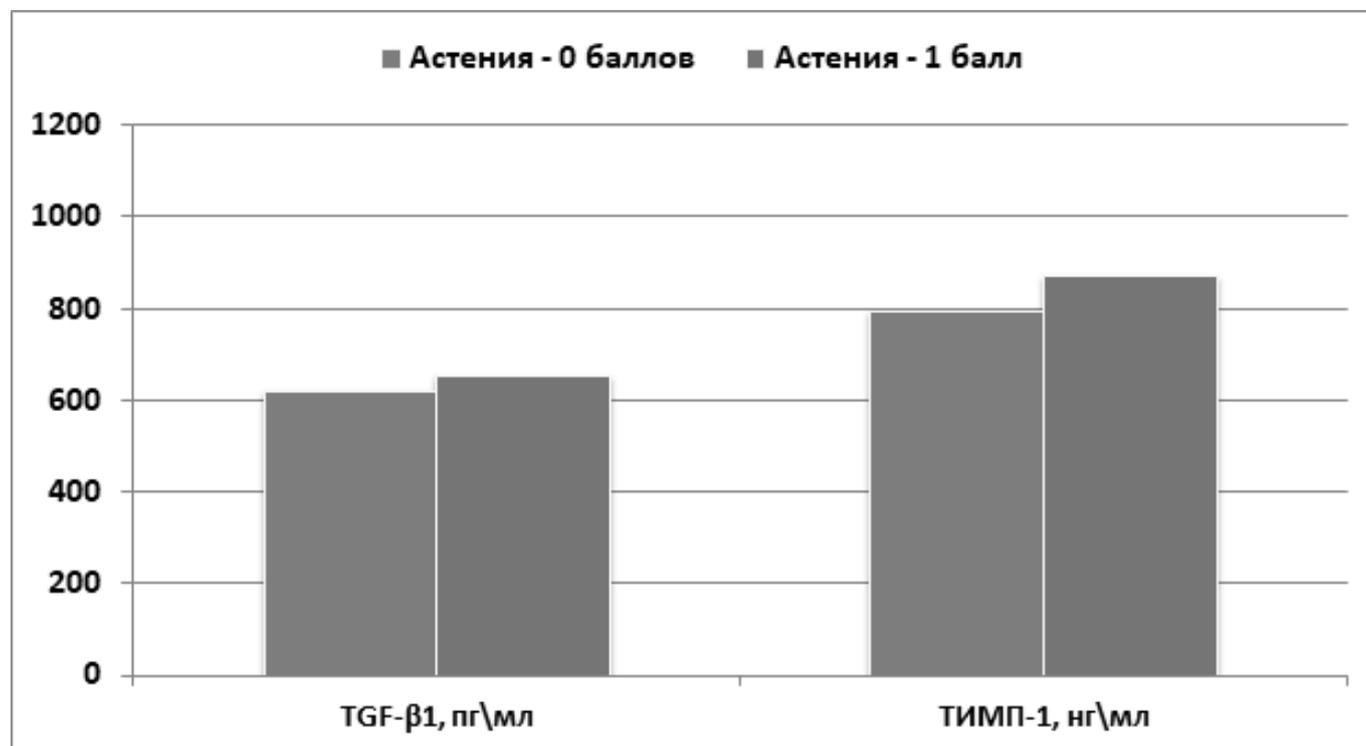


Рис. 1. Содержание цитокинов в сыворотке крови в зависимости от выраженности астенического синдрома.

Таблица 3. Сравнительный анализ содержания цитокинов в сыворотке крови у больных ХГ С в зависимости от активности цитолитических ферментов (M±SD)

Больные ХГ С	TGF-β1, пг/мл.	ТИМП-1, нг/мл.
АлАТ/АсАТ до 1,5 N.	434,8±95,7	633,1±90,6
АлАТ/АсАТ 1,5–3 N.	576,8±115,1	781,7±150,2
АлАТ/АсАТ 3–5 N.	683,4±100,1	860,5±182,5
Контроль, n=35	257,3±58,9	458,6±76,3
Значение p	p1–2<0,05 p1–3<0,05 p2–3<0,05 p1–4<0,05 p2–4<0,01 p3–4<0,01	p1–2<0,05 p1–3<0,05 p2–3<0,05 p1–4<0,05 p2–4<0,01 p3–4<0,01

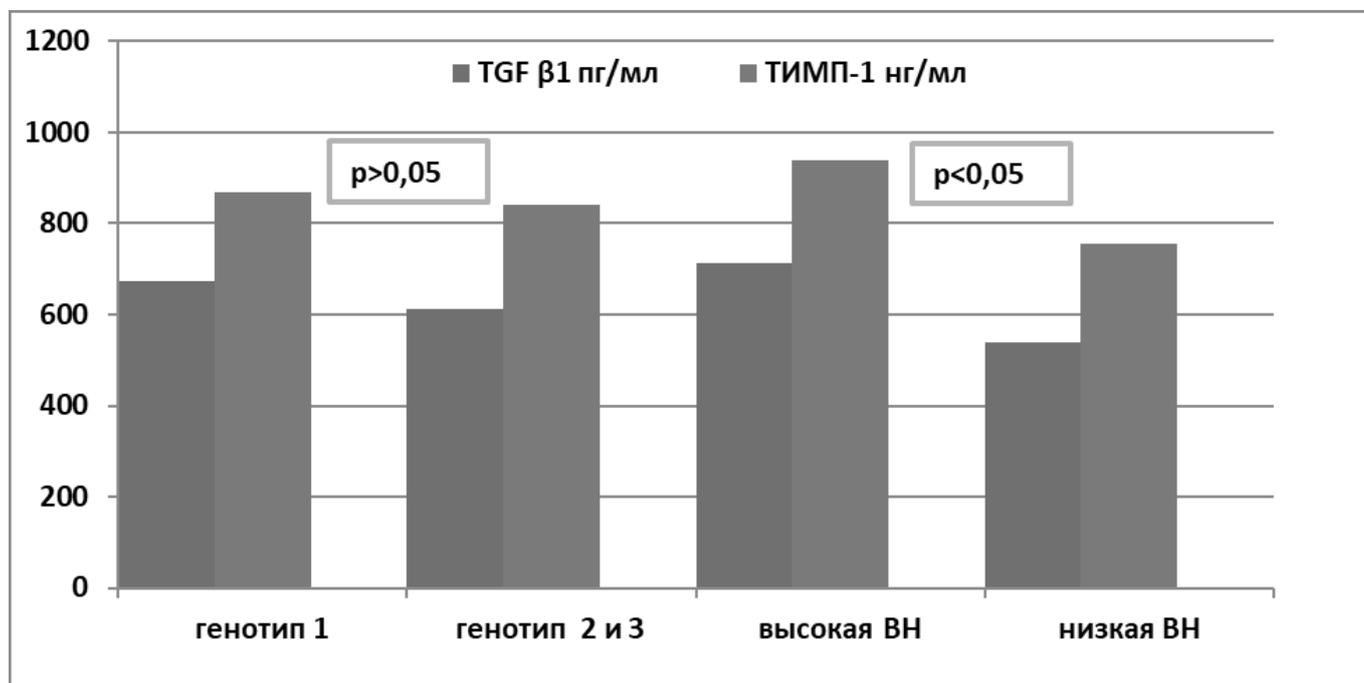


Рис. 2. Сравнительная оценка концентрации цитокинов в зависимости от генотипа ВГ С и вирусной нагрузки (p>0,05).

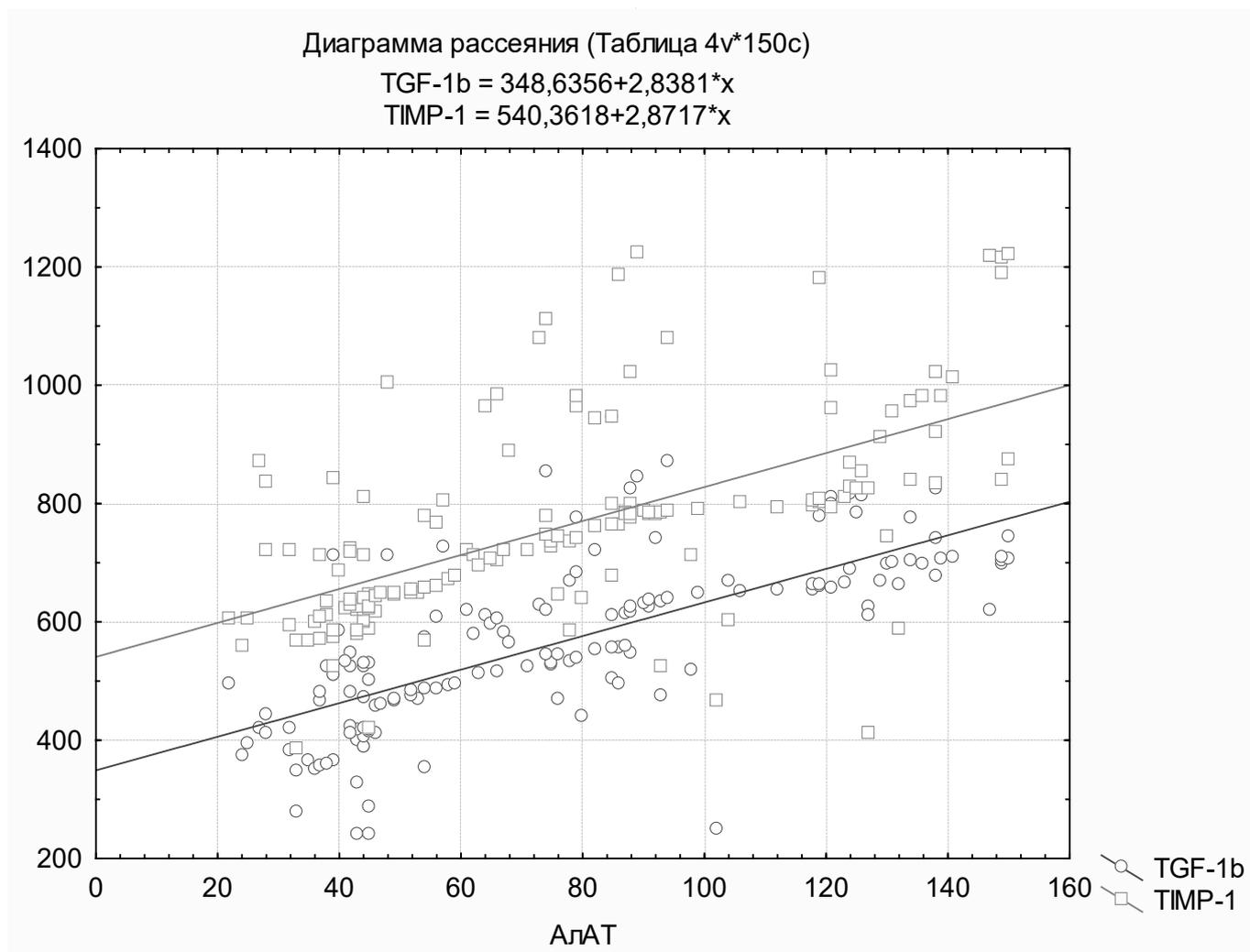


Рис. 3. Корреляционная зависимость между содержанием АлАТ в сыворотке крови и концентрацией TGF-β1 (пг/мл.), TIMP-1 (нг/мл.) у больных ХГ С ( $r=0,61$ ,  $r=0,68$ ,  $p<0,01$ , соответственно).

Из объективных симптомов и по данным УЗИ у большинства больных ХГ С отмечалось увеличение печени различной степени выраженности. Содержание TGF-β1 и TIMP-1 было также повышено в сыворотке крови в зависимости от размеров увеличения печени, но достоверной связи при этом не установлено ( $p>0,05$ ).

Таким образом, при исследовании уровня цитокинов в сыворотке крови в зависимости от клинических особенностей заболевания нами установлено повышение содержания TGF-β1 и TIMP-1 по мере нарастания длительности анамнеза заболевания, выраженности астенического синдрома и степени увеличения размеров печени.

При изучении возможных взаимосвязей между показателями цитокинов в зависимости от генотипа ВГС и вирусной нагрузки нами установлены следующие результаты. У больных ХГ С генотипом 1 уровень TGF-β1 был

повышен по сравнению с таковыми пациентов с генотипами 2 и 3. Но при этом достоверной разницы между исследуемыми группами установлено не было. По содержанию TIMP-1 больные ХГ С в зависимости от генотипа достоверно не отличались между собой ( $p>0,05$ ).

Уровень содержания TGF-β1 у исследованных больных ХГ С высокой вирусной нагрузкой был значимо повышен по сравнению с соответствующими показателями при низкой вирусной нагрузке. При изучении корреляционных взаимосвязей между ними выявлена достоверная связь ( $712,5 \pm 72,2$ ;  $538,2 \pm 68,3$  соответственно) ( $p<0,05$ ). Аналогичная корреляция прослеживалась при оценке средних концентрации TIMP-1 в указанных группах, т.е. уровень TIMP-1 в группе больных ХГ С высокой вирусной нагрузкой был значимо выше по сравнению с таковыми при низкой вирусной нагрузке ( $938,1 \pm 92,7$ ;  $754 \pm 81,3$  соответственно) ( $p<0,05$ ) (рис. 2).

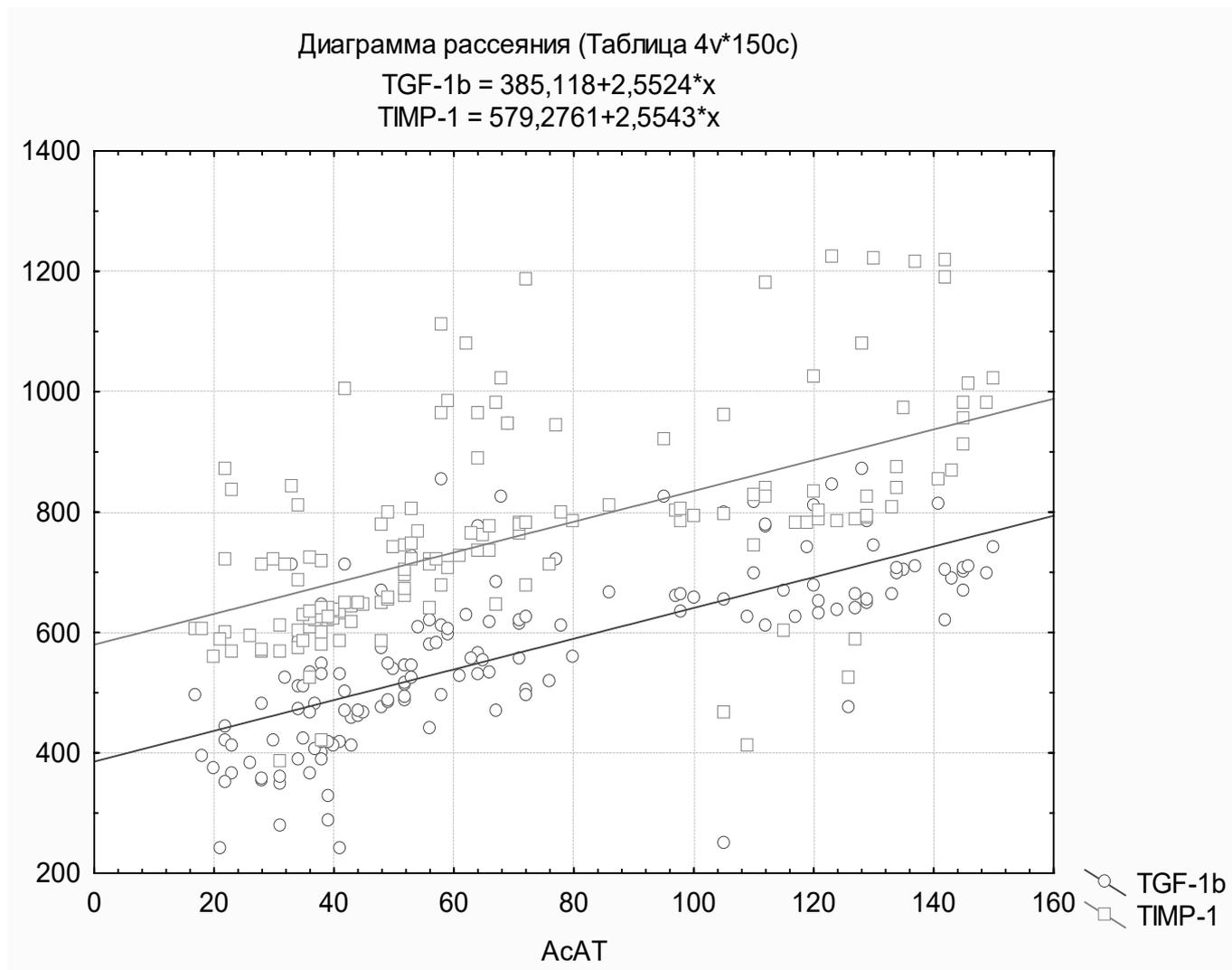


Рис. 4. Корреляционная зависимость между содержанием АсАТ в сыворотке крови и концентрацией TGF- $\beta$ 1 (пг/мл.), ТИМП-1 (нг/мл.) у больных ХГ С ( $r=0,58$ ,  $r=0,62$ ,  $p<0,01$ , соответственно).

Сравнительная характеристика сывороточных показателей цитокинов в зависимости от активности цитолитических ферментов показана в таблице 3.

Как видно из таблицы 3, средняя концентрация TGF- $\beta$ 1 у исследованных больных ХГ С в зависимости от активности АлАТ/АсАТ с минимальной активностью цитолитических ферментов ( $434,8 \pm 95,7$ ) значимо ( $p<0,05$ ) была понижена по сравнению с показателем у пациентов с активностью АлАТ/АсАТ 1,5–3 норм и 3–5 норм ( $576,8 \pm 115,1$  и  $683,4 \pm 100,1$ , соответственно). Средний показатель ТИМП-1 у пациентов с активностью АсАТ/АлАТ до 1,5 норм ( $633,1 \pm 90,6$ ) был также значимо ( $p<0,05$ ) ниже по сравнению с содержанием данного цитокина при незначительной и умеренной цитолитической активности ( $781,7 \pm 150,2$  и  $860,5 \pm 182,5$ , соответственно).

При изучении зависимости между содержанием цитокинов в сыворотке крови и концентрацией цитолитических ферментов у больных ХГ С нами установлены следующие результаты. Выявлена прямая значимая корреляционная взаимосвязь между концентрацией TGF- $\beta$ 1 и ТИМП-1, с одной стороны и уровнем АлАТ/АсАТ, с другой ( $r=0,61$ ,  $r=0,58$ ,  $p<0,01$  и  $r=0,68$ ,  $r=0,62$ ,  $p<0,01$ , соответственно) (рис. 3,4).

Исследование содержания цитокинов в зависимости от других биохимических показателей (билирубина, альбумина, общего белка, ГГТ, ЩФ) у больных ХГ С достоверной связи не обнаружило ( $p>0,05$ ).

При исследовании зависимости показателей TGF- $\beta$ 1 и ТИМП-1 в сыворотке крови от ПЭ у больных ХГ С установлено, что по мере нарастания их концентраций, ста-

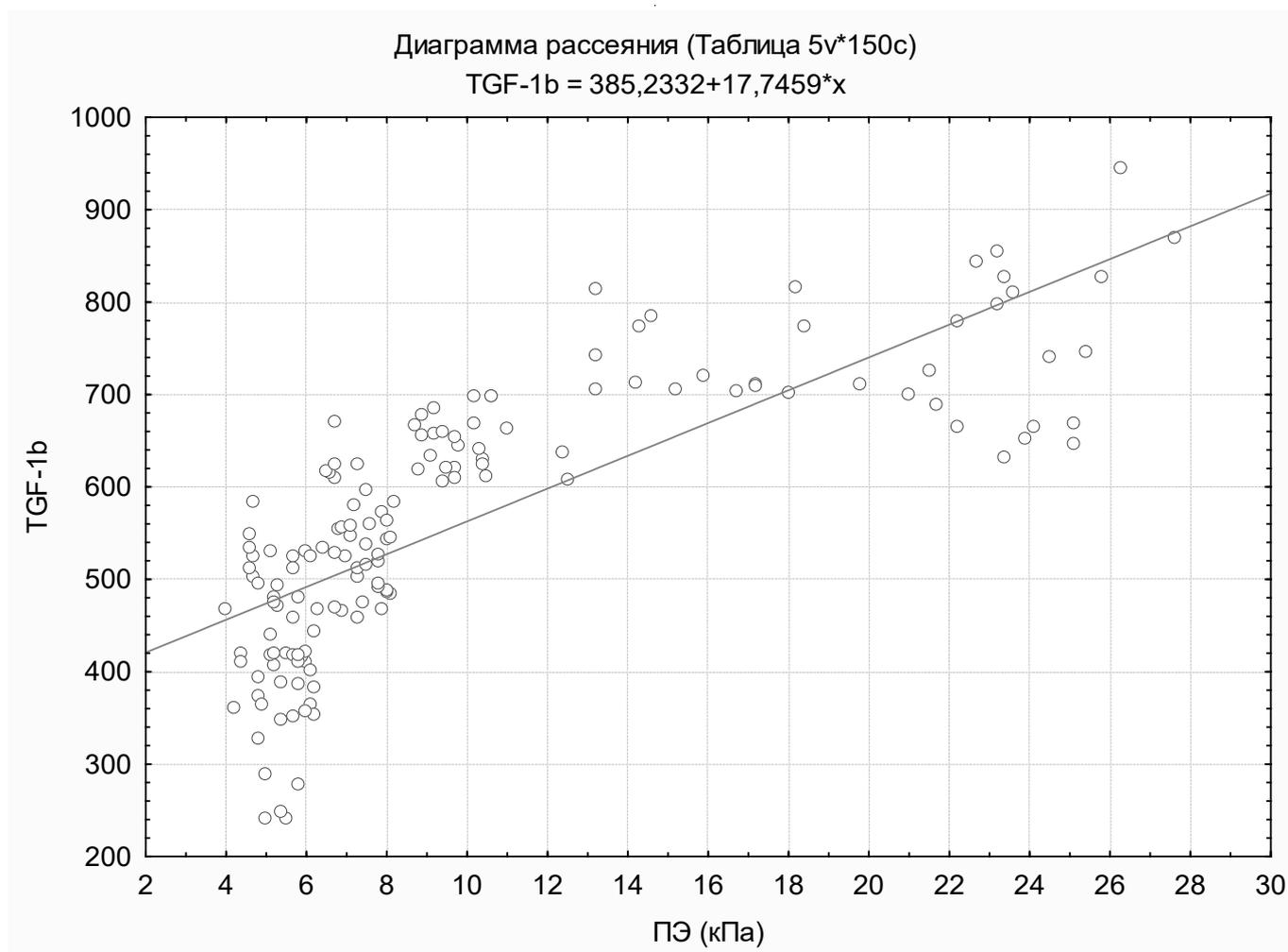


Рис. 5. Корреляционная связь между содержанием TGF- $\beta$ 1 и стадией фиброза у больных ХГ С.

для фиброза печени по данным фиброэластометрии повышалась.

При сопоставлении уровня цитокинов и стадий фиброза печени, по данным фиброэластометрии, у больных ХГ С установлена статистически значимая связь ( $p < 0,01$ ) между содержанием TGF- $\beta$ 1 и ТИМП-1 в сыворотке крови, с одной стороны, и индексом фиброза, с другой ( $r = 0,78$  и  $r = 0,71$ ).

Выявлено, что у больных ХГ С с стадией 0 фиброза печени, по данным фиброэластометрии, и стадией 0–1 уровень TGF- $\beta$ 1 был значимо ( $p < 0,01$ ) снижен по отношению с соответствующим показателем у пациентов с стадиями 2, 3 и 4 ( $471,4 \pm 91,4$ ;  $641,8 \pm 29,9$ ;  $721,4 \pm 55,8$  и  $753,8 \pm 89,8$  пг/мл, соответственно) (рис. 5).

Аналогичные результаты были получены по содержанию ТИМП-1 в сыворотке крови у исследованных больных в зависимости от стадии фиброза печени по данным

фиброэластометрии. При этом наблюдалось, что по мере нарастания стадии фиброза содержание ТИМП-1 также повышалось. Так, у больных ХГ С со стадией фиброза 3–4 уровень ТИМП-1 был значимо ( $p < 0,05$ ) выше по сравнению с таковым у пациентов с фиброзом 0–I и II стадии ( $915,5 \pm 131,6$ ;  $985,4 \pm 182,3$  и  $673,6 \pm 105,6$ ;  $822,1 \pm 177,7$  и нг/мл, соответственно) (рис. 6).

Сравнительная характеристика сывороточных показателей цитокинов в зависимости от стадии фиброза печени по данным фиброэластометрии показана в таблице 4.

Таким образом, у исследованных больных ХГ С уровни TGF- $\beta$ 1 и ТИМП-1 положительно коррелируют со стадией фиброза по данным фиброэластометрии [1,2].

Характеристика прогностической ценности сывороточных показателей цитокинов в зависимости от стадии фиброза печени по данным фиброэластометрии представлена в таблице 6.

Таблица 4. Содержание цитокинов в сыворотке крови у больных ХГ С в зависимости от стадии фиброза по данным фиброэластометрии (M±SD)

Больные ХГ С	TGF-β1, пг\мл.	ТИМП-1, нг\мл.
стадия F0-F1	471,4±91,4	673,6±105,6
стадия F2	641,8±29,9	822,1±177,7
стадия F3	721,4±55,8	915,5±131,6
стадия F4	753,8±89,8	985,4±182,3
Контроль, n=35	257,3±58,9	458,6±76,3
Значение p	p1-2<0,05 p1-3<0,05 p1-4<0,01 p2-3<0,05 p2-4<0,05 p3-4<0,05 p1-5<0,05 p2-5<0,01 p3-5<0,01 p4-5<0,01	p1-2<0,05 p1-3<0,01 p1-4<0,01 p2-3<0,05 p2-4<0,01 p3-4<0,05 p1-5<0,05 p2-5<0,01 p3-5<0,01 p4-5<0,01

Диаграмма рассеяния (Таблица 5v\*150с)

$$\text{ТИМП-1} = 589,4972 + 16,7619 \cdot x$$

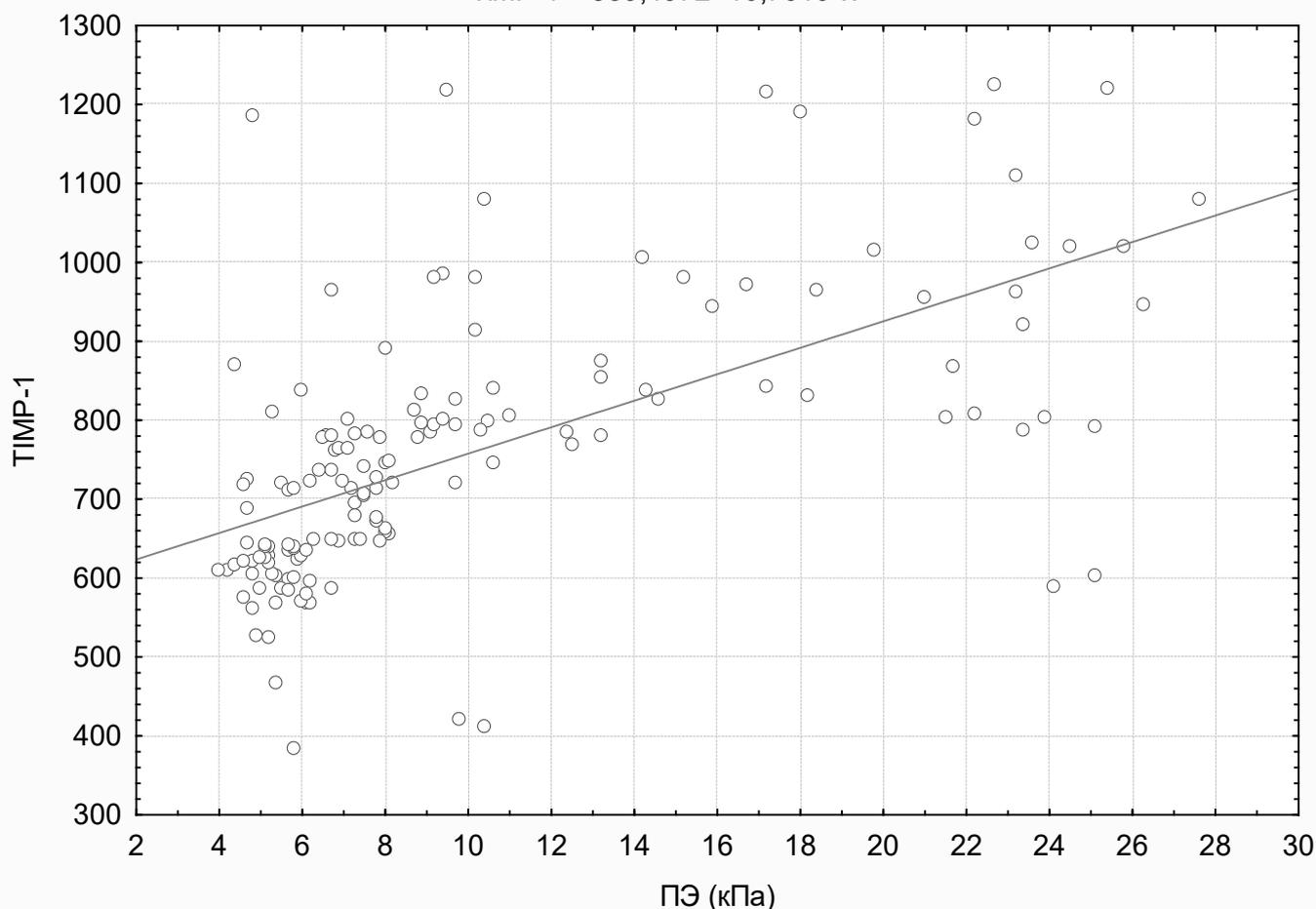


Рис. 6. Корреляционная связь показателя ТИМП-1 и стадии фиброза у больных ХГ С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Blomhoff R., Berg T., Norum K. R. Transfer of retinol from parenchymal to stellate cells in liver is mediated by retinol-binding protein // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1998. V. 85. P. 3455–3458.
2. Bataller R., Brenner D. A. Liver fibrosis // J. Clin. Invest. 2005. V. 115. P. 209–218.
3. Павлов Ч. С., Золоторевский В. Б., Ивашкин В. Т. и др. Динамика показателей воспаления и фиброза печени у больных хроническим вирусным гепатитом С (ХВГ-С) на фоне комбинированной терапии (интерфероном- $\alpha$  + рибавирином) // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии и колопроктологии. 2006. Т. XVI, № 1. С. 45. — (Материалы XI Российской конференции «Гепатология сегодня»).
4. Шапиро И. Я., Сек Ок Сун, Кноринг Б. Е. Особенности иммунного ответа и цитокиновый статус при различных вариантах течения цирроза печени // Медицинская иммунология. 2002. Т. 4, № 4–5. С. 545–552.
5. Ярилин, А. А. Система цитокинов и принципы ее функционирования в норме и при патологии // Иммунология. 1997. № 5. С. 7–13.

© Мусхаджиев Алимхан Абухаджиевич (muskhadzhiyev76@list.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Дагестанский государственный медицинский университет

# ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТРЕДУЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПАРОДОНТИТА

## THE EFFECT OF SULFATE-REDUCING BACTERIA ON THE OCCURRENCE OF PERIODONTITIS

*T. Simonyan*

*Summary.* Sulfate-reducing bacteria (SRB) may be etiologically involved in destructive periodontal diseases. The aim of this study is to summarize the species diversity of SRB in the oral cavity, to characterize periodontitis and describe the connection between SRB and the products of their metabolism with the etiology of this disease. Periodontal sulfate-reducing bacteria are associated with several clinical categories of periodontitis and with periodontal sites of increased pocket depth.

*Keywords:* sulfate-reducing bacteria, influence, etiology, periodontitis.

**Симонян Татьяна Владимировна**

*К.м.н., преподаватель, Пятигорский медико-фармацевтический институт — филиал Волгоградского государственного медицинского университета  
shpitzbaum@mail.ru*

*Аннотация.* Сульфатредуцирующие бактерии (SRB) могут быть этиологически вовлечены в деструктивные заболевания пародонта. Целью данного исследования является обобщение видового разнообразия SRB в полости рта, характеристика пародонтита и описание связи между SRB и продуктами их метаболизма с этиологией этого заболевания. Сульфатредуцирующие бактерии пародонта связаны с несколькими клиническими категориями пародонтита и с участками пародонта с увеличенной глубиной карманов.

*Ключевые слова:* сульфатредуцирующие бактерии, влияние, этиология, пародонтит.

**С**ульфатредуцирующие бактерии (SRB) — это группа анаэробных микроорганизмов, которые имеют общую реакцию для получения энергии диссимиляционного восстановления сульфата. Эти бактерии встречаются не только во внешней бескислородной среде, где они колонизируют водные отложения и почву, но и в организме людей и животных. У животных и людей они колонизируют кишечник и полость рта, в основном пародонтальные карманы. На сегодняшний день из полости рта выделены роды *Desulfovibrio*, *Desulfomicrobium* и *Desulfobacter* [1].

Сульфатредуцирующие бактерии — это бактерии и археи, которые могут получать энергию, окисляя органические соединения или молекулярный водород (H<sub>2</sub>), восстанавливая сульфат (SO<sub>2</sub>-4) до сероводорода (H<sub>2</sub>S). В некотором смысле эти организмы «дышат» сульфатом, а не кислородом, в форме анаэробного дыхания [2].

Сульфатредуцирующие бактерии появились 3,5 миллиарда лет назад и считаются одними из самых старых форм микроорганизмов, внесших свой вклад в цикл серы вскоре после появления на Земле жизни.

Многие бактерии восстанавливают небольшое количество сульфатов, чтобы синтезировать серосодержащие компоненты клетки; это называется восстановлением ассимиляционного сульфата. Напротив, рассматриваемые здесь сульфатредуцирующие бактерии восстанавливают сульфат в больших количествах для

получения энергии и вытесняют образующийся сульфид как отходы; это известно как диссимиляционное восстановление сульфата. Они используют сульфат в качестве конечного акцептора электронов в своей цепи переноса электронов. Большинство из них — анаэробы [3].

Сульфат широко встречается в морской воде, отложениях или воде, богатой разлагающимся органическим материалом. Сульфатредуцирующие бактерии распространены в анаэробных средах, где они способствуют разложению органических материалов. В этих анаэробных средах ферментирующие бактерии извлекают энергию из крупных органических молекул; образующиеся более мелкие соединения, такие как органические кислоты и спирты, дополнительно окисляются ацетогенами, метаногенами и конкурирующими сульфатредуцирующими бактериями [4].

SRB встречаются во рту примерно у 10% здоровых людей. У пациентов с пародонтитом частота их возникновения значительно выше, достигая 86%, и связана с увеличением глубины пародонтальных карманов и их кровотечением [5]. Эти факты свидетельствуют о том, что SRB являются частью нормальной микробиоты полости рта, но предпочитают пародонтальные карманы, которые идеально подходят для роста этих бактерий, учитывая их анаэробные условия роста.

Бактерии рода *Desulfomicrobium* представляют собой неспорообразующие грамотрицательные палоч-

ковые клетки, обычно подвижные с одним или двумя полярными жгутиками. Род *Desulfomicrobium* метаболически идентичен роду *Desulfovibrio*, но характеризуется стержнеобразной морфологией и содержанием бисульфатредуктазы с десульфорубидином вместо деульфовиридина. Основным очагом их возникновения является грязь и отложения, но новый вид *Desulfomicrobium orale* был изолирован от пациентов с пародонтитом из пародонтальных карманов [6].

В настоящее время достаточно распространенной является проблема пародонтита — это хроническое многофакторное воспалительное заболевание, связанное с дисбиотической биопленкой зубного налета и характеризующееся постепенным разрушением суспензии зубов. Пародонтит — хроническое воспалительное заболевание, поражающее ткани, поддерживающие зубы, так называемый пародонт. Это ткань, окружающая зубы и фиксирующая их на своем месте; он также служит первым барьером против проникновения примесей, бактерий и других вредных элементов. Пародонт состоит из десны (ткани десны), цемента (внешний слой корней зубов), альвеолярной кости (костные впадины, в которые крепятся зубы) и пародонтальных связок. Формируются пародонтальные карманы; постоянное воспаление и инфекция не позволяют им самопроизвольно заживать, как в случае с поверхностью тела [7].

Пародонтит — хроническое воспалительное заболевание тканей пародонта с неясной и малоизученной этиологией. Однако его развитие связано с изменением бактериального состава биопленки зубного налета. Клиническая потеря прикрепления является преобладающим клиническим проявлением и определяющим фактором заболевания пародонта, а его потеря является признаком деструктивного (физиологически необратимого) заболевания пародонта. Пародонтит — заболевание с множеством клинических проявлений, и его клиническое описание постоянно уточняется и обновляется. Основные признаки включают потерю поддержки тканей пародонта, что приводит к клинически значимой потере фиксации зуба в области шейки и корня зуба и рентгенологически оцениваемой потере альвеолярной кости, образованию и наличию настоящих пародонтальных карманов между деснами и зубом, а также кровоточивости десен [8].

В связи с наблюдаемым увеличением заболеваемости SRB в полости рта у пациентов с пародонтитом рассматривается возможность токсического воздействия H<sub>2</sub>S на эпителиальные клетки ротовой полости, что может привести к возникновению и дальнейшему развитию заболевания. H<sub>2</sub>S действует как ингибитор клеточной цитохромоксидазы, а также может иметь вторичный эф-

фект, разрушая дисульфидные связи в белках, что влияет на гранулоциты и их функцию в иммунной системе [9].

Пародонтит чаще всего возникает у людей с избыточным количеством зубного налета, что подтверждает теорию о том, что микроорганизмы и их метаболиты играют роль в развитии этого заболевания. Микробиом полости рта был разделен на несколько групп в соответствии с таксономической конгениальностью, при этом некоторые комплексы в большей степени связаны с заболеваниями пародонта, что привело к выводу, что некоторые виды микроорганизмов имеют более высокий патогенетический потенциал, чем другие.

Сульфатредуцирующие бактерии (SRB) могут быть этиологически вовлечены в деструктивные заболевания пародонта. Эти строго анаэробные бактерии используют продукты ферментации для сохранения энергии за счет восстановления сульфата до сульфида. Этот токсичный продукт может накапливаться в пародонтальных карманах в концентрациях, вызывающих разрушение клеток. SRB зависят от активно разлагающейся микробиоты, чтобы производить восстановленную среду, продукты ферментации и сульфаты. Частота обнаружения этих бактерий значительно выше при пародонтите по сравнению со здоровыми участками полости рта [10].

Протеолитическая активность во рту — важный фактор в развитии неприятного запаха изо рта. Летучие соединения серы (VSC) — это газы, которые в первую очередь ответственны за неприятный запах изо рта — состояние, при котором во рту присутствуют нежелательные неприятные запахи. VSC образуются в результате метаболизма белков бактерий. Эти метаболиты включают многие соединения, такие как скатол, H<sub>2</sub>S, метантиол и диметилсульфид. Исследования показали, что эти соединения токсичны даже при низких концентрациях. Другими словами, VSC также могут вносить вклад в этиологию как гингивита, так и пародонтита [11].

SRB — это гетерогенная группа встречающихся в природе видов, которые разделяют способность диссимиляционного восстановления сульфата до H<sub>2</sub>S. H<sub>2</sub>S — высокотоксичный агент (который вызывает повреждение клеток подобно цианиду) со смертельным исходом из-за инактивации цитохромоксидазы. Цитохромоксидаза — это трансмембранный белок митохондрий, последний фермент в цепи респираторного транспорта электронов. O<sub>2</sub> не может связываться с ним после его блокировки, что приводит к невозможности синтеза АТФ и, следовательно, производства энергии. Сульфид был обнаружен в более глубоких пародонтальных карманах в концентрациях, достаточно высоких, чтобы инактивировать клеточную цитохромоксидазу. Накопление H<sub>2</sub>S также может иметь вторичный токсический эффект —

он способен расщеплять дисульфидные связи в белках, вступать с ними в реакцию и связывать ионы различных металлов. Это может повлиять на способность гранулоцитов опсонизировать микроорганизмы, что приведет к подавлению иммунного ответа в пародонтальном кармане. H<sub>2</sub>S также ингибирует миелопероксидазу и каталазу [12].

Пародонтит — это в определенной степени излечимое заболевание, лечение которого сочетает консервативную терапию с хирургическим лечением, надлежащее воздействие которого требует длительного соблюдения гигиены полости рта. Конечным продуктом диссимиляционного восстановления сульфата является H<sub>2</sub>S, который оказывает токсическое действие на эпителиальные клетки полости рта. Он действует как ингибитор клеточной цитохромоксидазы, а также может иметь вторичный эффект, разрушая дисульфидные связи белков, влияя на гранулоциты и их функции в иммунной системе. Метаанализ трех исследований, посвященных присутствию SRB-положительных людей в полости рта, показал, что процент SRB-положительных людей выше у людей с пародонтитом [13].

В исследовании Petra Langendijk-Genevaux и соавт. наличие SRB определялось в зависимости от клинических особенностей пациентов и локальных клинических параметров пародонтита, таких как глубина кармана, кровотечение и уровень прикрепления. В исследование были включены пациенты с клиническими характеристиками тяжелого пародонтита (n = 87), 78 пациентов не получали лечения, а 9 пациентов получали поддерживающую терапию после лечения. Образцы были взяты (n = 261) из самых глубоких пародонтальных карманов, и наличие SRB было определено путем обогащения культуры в бескислородной камере.

Результаты исследования были следующие: у 64% пациентов SRB присутствовали как минимум в 1 кармане. Они возникали среди пациентов от 23 до 57 лет и чаще всего преобладали среди пациентов старше 30 лет. Наблюдалась тенденция к увеличению встречаемости SRB у пациентов с более чем 50% участков кровотечения или с несколькими угловатыми костными дефектами или развилками. SRB присутствовали в 44% пародонтальных

карманов. Они, как правило, преобладали в карманах с кровотечением при зондировании, развилках, угловатых костных дефектах или эндодонтическом осложнении. Наличие SRB положительно коррелировало с увеличением глубины кармана (p < 0,05).

Было обнаружено, что SRB связаны с различными клиническими категориями пародонтита, включая пародонтит с ранним началом, быстро прогрессирующий пародонтит, пародонтит взрослых и рефрактерный пародонтит. Хотя SRB преобладал среди пациентов со взрослой формой пародонтита, то есть с частотой 72%, значимой корреляции с возрастом пациента не было. Среди пролеченных пациентов на поддерживающей терапии распространенность SRB была значительно снижена по сравнению с нелеченными пациентами (p < 0,02). Возникновение SRB в пародонтальных карманах показало отношение шансов 11,2 по сравнению со здоровыми участками полости рта [14].

Таким образом, нами установлено, что одно из самых распространенных воспалительных заболеваний полости рта — пародонтит. Увеличение SRB в карманах при несъемном протезировании зависит от определенной активности микробов, разрушающих ткани. Кроме того, бактерии продуцируют фактор вирулентности H<sub>2</sub>S, который может усиливать процесс разрушения тканей пародонта, поэтому присутствие SRB может служить индикатором деградации тканей в пародонтальном кармане.

Также нарушение микробиоценоза в полости рта может привести к воспалению слизистой оболочки протезного ложа и протезным стоматитам. Последствиями инфекционных воспалительных процессов, связанных с протезированием, являются прогрессирующая деструкция пародонта и костной ткани альвеолярной кости, возникновение дефектов зубных рядов, нарушение жевательной функции пациента

Есть еще много безответных вопросов о точном механизме возникновения пародонтита и о том, действительно ли он связан с сульфатредуцирующими и / или другими бактериями. Поэтому необходимо продолжить исследования микробных популяций ротовой полости и их влияния на ткани, в которых они обитают.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Alexander M. Microbial ecology / M. Alexander. — New York, 2008. — P. 3–93.
2. Guan F, Zhai X, Duan J, Zhang M, Hou B (2016) Influence of Sulfate-Reducing Bacteria on the Corrosion Behavior of High Strength Steel EQ70 under Cathodic Polarization. PLoS ONE11(9): e0162315.
3. Hamilton WA (1985) Sulphate-reducing bacteria and anaerobic corrosion Ann. Rev. Microbiol. 39, 159–217
4. Kotrsová, V.; Kushkevych, I. Possible methods for evaluation of hydrogen sulfide toxicity against lactic acid bacteria. Biointerface Res. Appl. Chem. 2019, 9, 4066–4069.

5. Kushkevych, I. V. Kinetic Properties of Pyruvate Ferredoxin Oxidoreductase of Intestinal Sulfate-Reducing Bacteria *Desulfovibrio piger* Vib-7 and *Desulfomicrobium* sp. Rod-9. *Pol. J. Microbiol.* 2015, 64, 107–114
6. Hao, O.J.; Chen, J.M.; Huang, L.; Buglass, R. L. Sulfate-reducing bacteria. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 1996, 26, 155–187.
7. Darout, I. A. Oral Bacterial Interactions in Periodontal Health and Disease. *J. Dent. Oral Hyg.* 2014, 6, 51–57.
8. Hasturk, H.; Kantarci, A.; Van Dyke, T. E. Oral inflammatory diseases and systemic inflammation: Role of the macrophage. *Front. Immunol.* 2012, 3, 118.
9. Loesche, W.J.; Grossman, N. S. Periodontal Disease as a Specific, Albeit Chronic, Infection: Diagnosis and Treatment. *Clin. Microbiol. Rev.* 2001, 14, 727–752.
10. Marsh, P.D.; Devine, D. A. How Is the Development of Dental Bio-films Influenced by the Host? Host Influence on Biofilm Development. *J. Clin. Periodontol.* 2011, 38, 28–35.
11. Kushkevych I, Coufalová M, Vítězová M, Rittmann SK-MR. Sulfate-Reducing Bacteria of the Oral Cavity and Their Relation with Periodontitis — Recent Advances. *Journal of Clinical Medicine.* 2020; 9(8):2347.
12. Darveau, R. P. Periodontitis: A Polymicrobial Disruption of Host Homeostasis. *Nat. Rev. Microbiol.* 2010, 8, 481–490.
13. Langendijk, P.S.; Hanssen, J.T.J.; Van der Hoeven, J. S. Sulfate-Reducing Bacteria in Association with Human Periodontitis. *J. Clin. Periodontol.* 2000, 27, 943–950.
14. Petra Langendijk-Genevaux, J.T.J. Hanssen, J.S. van der Hoeven, Sulfate-reducing bacteria in association with human periodontitis. *Journal Of Clinical Periodontology* 27(12):943–50. DOI: 10.1034/j.1600–051x.2000.027012943

---

© Симонян Татьяна Владимировна (shpitzbaum@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Г. Пятигорск

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАДИЦИОННОГО ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПОСТЛУЧЕВЫХ РЕКТОВАГИНАЛЬНЫХ СВИЩЕЙ И ЛЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОИНЪЕКЦИОННОЙ АУТОТРАНСПЛАНТАЦИИ ТКАНЕЙ

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF TRADITIONAL SURGICAL TREATMENT OF POST-RADIATION RECTOVAGINAL FISTULA AND TREATMENT USING MICROINJECTION OF AUTOTRANSPLANT TISSUES

**Zh. Teryushkova  
V. Vasilyev  
A. Vazhenin  
S. Vasilyev  
E. Lomakin  
G. Dimov**

**Summary.** Objectives. To conduct a comparative analysis of the effectiveness of traditional surgical treatment of postradiation rectovaginal fistula and treatment using microinjection autologous tissue transplantation.

**Methods.** The study involved 24 patients aged  $54 \pm 10$  years with a diagnosis of postradiation rectovaginal fistula. As a medical method, the method of microinjection autotransplantation of adipose tissue was used. The efficacy analysis (case description) included data for all patients who underwent the procedure for administering autologous regenerative adipose tissue cells. In the form of lists (tables) for each patient, demographic data (age, gender) were presented, as well as the results of special examinations at the corresponding visit (before the procedure, after the procedure, 1, 3, 6, 12 months after the procedure, namely: research, anoscopy, sigmoidoscopy, colonoscopy, magnetic resonance imaging of the pelvis, endorectal ultrasound).

**Results.** The study found that when using the surgical method for the treatment of postradiation rectovaginal fistula, postoperative complications were observed in 42.1% of patients, which indicates the need to find alternative ways to treat this pathology. In particular, if before the procedure the average diameter of the fistula was  $2.5 \pm 0.46$  cm ( $M \pm m$ ), then after 3 months this indicator was  $1.35 \pm 0.47$ , and after 6 months —  $1.12 \pm 0, 47$  cm. All patients showed complete epithelization of the defect. Duration of observation — 1 year. During this period, complications and relapses did not occur.

**Терюшкова Жанна Ивановна**

К.м.н., МАУЗ ордена знак почета городская клиническая больница № 8, г. Челябинск

**Васильев Вячеслав Сергеевич**

К.м.н., ассистент, Южно-Уральский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Челябинск

**Важенин Андрей Владимирович**

Академик РАН, д.м.н., профессор, Южно-Уральский государственный медицинский университет

Министерства здравоохранения Российской Федерации; главный врач, Челябинский областной клинический центр онкологии и ядерной медицины, г. Челябинск

**Васильев Сергей Александрович**

Д.м.н., профессор, Южно-Уральский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Челябинск

**Ломакин Евгений Алексеевич**

Южно-Уральский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Челябинск

**Димов Георгий Павлович**

К.м.н., н.с., Южно-Уральский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Челябинск  
danil-popov97@mail.ru

**Аннотация.** Цель. Провести сравнительный анализ эффективности традиционного хирургического лечения постлучевых ректовагинальных свищей и лечения с использованием микроинъекционной аутоотрансплантации тканей.

**Материал и методы.** В исследовании приняло участие 24 пациентки в возрасте  $54 \pm 10$  лет с диагнозом постлучевой ректовагинальный свищ. В качестве лечебного применялся метод микроинъекционной аутоотрансплантации жировой ткани. В анализ эффективности (описание случаев) были включены данные по всем пациентам, у которых была выполнена процедура введения аутологичных регенеративных клеток жировой ткани. В виде списков (таблиц) для каждого пациента были представлены демографические данные (возраст, пол), а также результаты специальных обследований на соответствующем визите (до процедуры, после процедуры, спустя 1, 3, 6, 12 месяцев после процедуры, а именно: бимануальное исследование, anosкопия, ректороманоскопия, колоноскопия, магнитно-резонансная томография малого таза, эндоректальное ультразвуковое исследование.

*Keywords:* rectovaginal fistula, postradiation fistula, surgical method, microinjection, autologous tissue transplantation, method efficiency, tissue epithelization.

## Введение

Одним из наиболее распространенных методов лечения злокачественных новообразований малого таза, является лучевая терапия [1]. Зачастую последствием лучевой терапии являются функциональные и органические нарушения в мягких тканях, органах, прилегающих к зоне облучения. Большинство осложнений проявляются спустя довольно длительный промежуток времени после облучения (отдаленные последствия лучевой терапии) [2].

К поздним лучевым повреждениям следует отнести лучевые повреждения, которые возникают спустя 100 дней, и более после перенесенной лучевой терапии. В основе развития поздних лучевых повреждения лежит повреждение клеток и тканей на морфологическом уровне, что влечет за собой изменения структуры и функционального состояния поврежденных тканей. Лучевые повреждения представляют собой поэтапные изменения в структуре и функциональном состоянии тканей, окружающих опухоль.

Наименьшей толерантностью обладают стенки прямой кишки, поэтому одним из наиболее распространенных постлучевых осложнений являются такие заболевания, как ректиты, проктиты, при которых происходит, в первую очередь, повреждение прямой кишки [3]. Повреждение прямой кишки часто сопровождается вовлечением в патологический процесс всего кишечника, поскольку воспалительный процесс легко распространяется. При эндоскопическом исследовании лучевых повреждений кишечника, можно выявить характерные изменения кровеносных сосудов. Лечение постлучевых повреждений прямой кишки может быть, как традиционным, так и радикальным, в зависимости от тяжести патологических явлений, прогрессирования патологического состояния.

Результаты. В ходе исследования было установлено, что при использовании хирургического метода лечения постлучевых ректовагинальных свищей, послеоперационные осложнения наблюдались у 42,1% пациенток, что указывает на необходимость поиска альтернативных путей лечения данной патологии. В частности, если до процедуры средний диаметр свища составлял  $2,5 \pm 0,46$  см ( $M \pm m$ ), то через 3 месяца этот показатель составил  $1,35 \pm 0,47$ , а через 6 месяцев —  $1,12 \pm 0,47$  см. У всех пациенток наблюдалась полная эпителизация дефекта. Сроки наблюдения — 1 год. За указанный период осложнений и рецидивов не возникало.

*Ключевые слова:* ректовагинальный свищ, постлучевой свищ, хирургический метод, микроинъекции, аутотрансплантация тканей, эффективность метода, эпителизация тканей.

Существуют различные классификации лучевых повреждений кишечника: катаральные, эрозивно-десквамативные, язвенные, свищевые. Наиболее характерным следствием проведенного лечения становится радиационный проктит, сопровождающийся слизистыми выделениями, диареей, ректальными кровотечениями, тенезмами, болевым синдромом, формированием свищей, рубцовыми стенозами, малигнизацией и пр.

Трудности в изложении жалоб, специфика необратимых поздних постлучевых изменений, рецидивирующее течение хронического лучевого проктита, несмотря на проводимую терапию, затрудняют своевременную диагностику, а, следовательно, и результаты лечения радиационного проктита [3].

По опубликованным данным, 5–10% лучевых проктитов носят инфильтративно-язвенный характер, при этом ректальные язвы могут быть довольно обширными и проникать на всю толщу ректовагинальной перегородки [2; 3]. В 8–4,5% случаев лучевые проктиты завершаются тяжелыми лучевыми повреждениями в виде ректовагинальных язв, которые затем переходят в ректовагинальные свищи [5].

В дальнейшем развивается ишемический некроз пораженных тканей [4].

Под ректовагинальным свищем (РВС), следует подразумевать тяжелое свищевое поражение ректовагинальной перегородки, при котором формируется сквозное отверстие между влагалищем и прямой кишкой. Последствия — физический дискомфорт, резкое снижение качества жизни, болевые ощущения [6]. Обращает на себя внимание тот факт, что наиболее сложными, отдельно стоящей категорией, являются свищи постлучевые, развившиеся в результате лучевой терапии по поводу основного заболевания (рака органов малого таза). Постлучевые свищи выделяют

в отдельную категорию, поскольку это сложнейшая нозология, которая требует специфического подхода и к диагностике, и к лечению. Они довольно сложно поддаются лечению, практически не заживают самопроизвольно, характеризуются склонностью к рецидивирующему течению [7]. Консервативное лечение постлучевых свищей в подавляющем числе наблюдений неэффективно, однако некоторые авторы рекомендуют проводить его при небольших размерах свища (до 0,5 см) и в первые 12 месяцев с момента его появления [8]. Тактика лечения лучевых прямокишечно-влагалищных свищей почти всегда требует наложения колостомы для уменьшения воспалительных процессов в области свища [4]. Ряд авторов сходится во мнении, что наложение трансверзостомы более целесообразно, чем сигмостомы [4; 5; 6; 7]. Известно, что основным методом лечения РВС в настоящее время является хирургическое лечение. К недостаткам хирургического метода лечения относят: высокий риск развития послеоперационных осложнений, рецидивов, возможность инфицирования, длительное послеоперационное восстановление [7]. Еще один недостаток состоит в том, что часто возникает потребность постановке разгрузочной колостомы [4].

У пациенток с постлучевыми ректовагинальными свищами, часто возникает потребность в проведении хирургического вмешательства в объеме экзертации таза, фистулопластики [8]. Послеоперационные осложнения при лечении лучевых повреждений прямой кишки наблюдаются у 42,1% пациенток. Это довольно высокий показатель, который указывает на недостаточную эффективность хирургических методов в лечении постлучевых осложнений прямой кишки. Все это указывает на необходимость поиска альтернативных путей решения проблемы [7; 9]. В качестве альтернативы может выступать микроинъекционная техника аутоотрансплантации регенераторных клеток жировой ткани. Аутологичные регенеративные клетки жировой ткани находят широкое применение в современной медицине [10; 11; 12; 13; 14; 15; 16].

Тем не менее, до сих пор не было разработано единого протокола, который позволил бы с максимально высокой точностью и эффективностью проводить лечение пациенток с использованием лечения с использованием микроинъекционной аутоотрансплантации тканей [17; 18; 19; 20]. Нет комплексных исследований, в которых была бы проведена оценка эффективности данного метода, в особенности, в сравнении с альтернативными методами. Именно это и определило выбор темы исследования.

## Цель

Провести сравнительный анализ эффективности традиционного хирургического лечения постлучевых ректовагинальных свищей и лечения с использованием микроинъекционной аутоотрансплантации тканей.

## Материал и методы

Исследование выполнялось на базе ГБУЗ «Челябинский областной клинический центр онкологии и ядерной медицины» и МАУЗ ОЗП ГКБ № 8 в период с 2016 по 2019 гг. Пациенты принимали участие в проекте на протяжении года; наблюдение за каждым пациентом продолжалось 6 месяцев. Таким образом, общая продолжительность клинической работы составляет 18 месяцев.

В исследовании приняло участие 24 пациентки в возрасте  $54 \pm 10$  лет с диагнозом постлучевой ректовагинальный свищ. Эти пациентки составили экспериментальную группу. Материал вводили в патологически измененные ткани с целью восстановления нормальной регенерации. В качестве лечебного применялся метод микроинъекционной аутоотрансплантации жировой ткани. Результаты лечения сравнивались с уже существующими традиционными методами лечения и методами лечения, используемыми в хирургии. Для контроля было взято 24 человека, которым проводилось лечение с применением различных хирургических методов лечения ректовагинального свища. Каждая пациентка проходила обследование, как минимум, 5 раз (5 визитов). 1-й визит в день манипуляции (визит включает подготовку аутологичных регенеративных клеток жировой ткани (adipose-derived regenerative cells, ADRC) и их инъекцию, дальнейшее наблюдение в течение 5 дней, выписка из стационара на 4–5 день). Затем 2 визит через месяц; 3 визит через три месяца; 4 визит через шесть месяцев; 5 визит через год. Для подтверждения диагноза рак прямой кишки использовались общепризнанные достоверные классификации постановки диагноза (МКБ-10). Для подтверждения диагноза применялись стандартные методы исследования, в том числе лабораторные и инструментальные исследования, гистологический анализ образцов ткани, полученных при биопсии.

В анализ эффективности (описание случаев) были включены данные по всем пациентам, у которых была выполнена процедура введения аутологичных регенеративных клеток жировой ткани. В виде списков (таблиц) для каждого пациента были представлены демографические данные (возраст, пол), а также результаты специальных обследований на соответствующем визите, а именно: бимануальное исследование; аноскопия; ректороманоскопия; колоноскопия; магнитно-резонансная томография малого таза; эндоректальное ультразвуковое исследование.

## Статистика

При анализе данных в работе использовались стандартные методы вариационной статистики. Статистиче-



до процедуры, на промежуточной стадии — через 3 месяца и спустя 6 месяцев после процедуры. Данные представлены в табл. 2.

При анализе представленных в таблице результатов отмечается прогрессивное улучшение состояния свища. Так, если до процедуры средний диаметр свища составлял  $2,5 \pm 0,46$  см, то через 3 месяца эти показатели составили  $1,35 \pm 0,47$ , а через 6 месяцев —  $1,12 \pm 0,47$  см. У всех пациенток наблюдалась полная эпителизация дефекта через 1 год. В среднем, для достижения полной эпителизации постлучевого ректовагинального свища, потребовалось 3 процедуры инъекции аутологичной СВФ жировой ткани. В наиболее тяжелых случаях применялось 5 процедур инъекций. Минимальное число инъекций, которое потребовалось для достижения полной эпителизации свищевого дефекта, составило 2 процедуры. Полученные данные указывают на эффективность проведенной терапии (таблица 3).

При сравнении результатов, полученных до проведения процедуры, и показателей, полученных спустя 3 месяца после проведенной процедуры, можно отметить положительную динамику заживления ректовагинального свища. Также прослеживается положительная динамика при сравнении показателей, полученных спустя 3 месяца после проведения процедуры, и спустя 6 месяцев после процедуры. Все это указывает на наличие положительной динамики в лечении, и свидетельствует об эффективности лечения ректовагинальных свищей с применением аутологичной жировой ткани.

Была проведена оценка динамики состояния постлучевых ректовагинальных свищей спустя 3 месяца и спустя 6 месяцев после проведения процедуры. Отмечается уменьшение размеров ректовагинального свища в динамике спустя 3 месяца, и спустя 6 месяцев. По сравнению с данными, полученными до проведения процедуры, спустя 3 месяца отмечено снижение размеров дефекта в 3 раза. Зарегистрировано дальнейшее уменьшение размера дефекта до 0,2 см и ниже. Спустя 6 месяцев отмечается снижение диаметра дефекта постлучевых повреждений примерно в 7–7,5 раз по сравнению с исходными данными. В динамике регистрируется уменьшение диаметра дефекта, вплоть до его полного исчезновения (достижения полной эпителизации).

До применения микроинъекционного метода, размер ректовагинального свища находился в пределах от 0,4 до 4 см, спустя три месяца размер дефекта стал находиться в пределах от 0,1 до 1,5 см. Спустя 6 месяцев после процедуры размер дефекта стал находиться в интервале от 0 до 1,8 см, то есть, спустя 6 месяцев у многих пациенток уже отмечались случаи полной эпителизации ректовагинального свища.

## Обсуждение

Сопоставление результатов хирургического лечения и микроинъекционного метода показало свою эффективность. Микроинъекционную тактику можно считать альтернативной хирургическому лечению, поскольку она позволяет достичь полной эпителизации поврежденной ткани, исключает вероятность развития рецидивов, предотвращает риск развития осложнений, в том числе, риск постоперационного инфицирования раневой поверхности, некроза. Существенно снижается продолжительность восстановительного периода. Наиболее вероятной причиной полученных результатов является отличие принципов и механизмов действия рассматриваемых методов.

Полученные нами данные сопоставимы с литературными данными. К настоящему времени накоплен клинический опыт успешного использования *микроинъекционной аутотрансплантации тканей* (липографтинг, липофилинг) для лечения поздних лучевых повреждений мягких тканей различных локализаций, что и послужило для нас стимулом к использованию этой методики в сложной клинической ситуации у больной с постлучевым коловагинальным свищом. Аутологичная трансплантация жировой стромальной сосудистой фракции (SVF) является экономически эффективным и технически доступным вариантом для клеточной терапии [10].

Beche-Adams T.H. [21] сообщает об итогах трансплантации липоаспирата при хронических анальных трещинах и ректовагинальных свищах. В это исследование были включены восемь пациентов с множественными дефектами. Перианальная аутологичная трансплантация жира может быть выполнена для лечения сложных анальных трещин и свищей. Данный метод хорошо переносится и дает обнадеживающие результаты [21].

## Заключение

Результаты сравнительного анализа эффективности хирургического лечения и микроинъекционного метода указывают на то, что более эффективным является второй. Так, частота различных осложнений при применении хирургических методов лечения колеблется в пределах от 5,3 до 21,1%. Рецидивы заболевания наблюдались в 21,1% случаев. При использовании микроинъекционной техники регистрируется уменьшение диаметра дефекта, вплоть до его полного исчезновения (достижения полной эпителизации). Полная эпителизация достигается через 1 год, в среднем требуется от 3 до 5 инъекций аутологичных клеток жировой ткани. Рецидивов и осложнений не возникает.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каприн А. Д., Старинский В. В., Петрова Г. В., ред. Состояние онкологической помощи населению России в 2017 году. Москва, РФ: МНИОИ им ПА Герцена; 2018. 236 с. <http://www.oncology.ru/service/statistics/condition/2017.pdf>
2. Пасов В. В., Бардычев М. С., Терехов О. В. Лечение поздних лучевых циститов у онкологических больных. Обнинск, РФ; 2007. 20 с.
3. Бардычев М. С. Лучевые повреждения прямой кишки после терапии рака шейки матки с применением шлангового аппарата «Агат-В» и их лечение. Мед. радиология. 1981; 4: 28–31.
4. Zi-Xu Y., Teng-Hui M., Huai-Ming W. Colostomy is a simple and effective procedure for severe chronic radiation proctitis. *World J Gastroenterol* 2016; 22(24): 5598–608.
5. Стрельников В. Н., Дульцев Ю. В., Саламов К. С. Хирургическое лечение прямокишечно-влагалищных свищей. *Хирургия*. 1980; 9: 103–108: 45.
6. Карташев А. А., Смолькина А. В., Макаров С. В., Дёмин В. П., Барбашин С. И., Мидленко И. И. Опыт лечения ректовагинальных свищей. *Международ. Журн. Прикладных и Фундам. Исследований*. 2017; (12 ч 2):282–86.
7. Семирджанянц Э. Г., Петровский А. В., Фанштейн И. А., Нечушкин М. И., Геворкян В. С., Автомонов Д. Е. Хирургическая реабилитация больных с постлучевыми ректо-вагинальными свищами при раке шейки матки. *Колопроктология*. 2013;(4):13–17. [http://www.gnck.ru/pdf/journal\\_4\\_46\\_2013.pdf](http://www.gnck.ru/pdf/journal_4_46_2013.pdf)
8. Елисеев Д. Э., Елисеев Э. Н., Аймамедова О. Н. Хирургическое лечение ректовагинальных свищей. Опыт пластики лучевого ректовагинального свища лоскутом Martius-Symmonds. *Онкогинекология* 2015; 2: 59–69.
9. Александров В. Б., Корнев Л. В., Разбирин В. Н., Сологубов В. В., Горшков В. С., Боленко Р. А. Результаты применения лапароскопической технологии при хирургическом этапе лечения злокачественных опухолей нижнеампулярного отдела прямой кишки. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*. 2018; 4 (80): 11–15.
10. Norderval S., Lundby L., Hougaard H., Buntzen S., Weum S., de Weerd L. Efficacy of autologous fat graft injection in the treatment of anovaginal fistulas. *Tech Coloproctol*. 2018 Jan;22(1):45–51.
11. Sanz-Baro R., García-Arranz M., Guadalajara H., de la Quintana P., Herreros M. D., García-Olmo D. First-in-Human Case Study: Pregnancy in Women With Crohn's Perianal Fistula Treated With Adipose-Derived Stem Cells: A Safety Study. *Stem Cells Transl Med*. 2015 Jun;4(6):598–602.
12. Shiffman M. A., Di Giuseppe A., Bassetto F., eds. *Stem cells in aesthetic procedures: art, science, and clinical techniques*. Berlin: Springer; 2014. 822 p.
13. Рачинская О. А., Меркулов В. А. Применение методов цитогенетического анализа при оценке качества клеточных линий в составе биомедицинских клеточных продуктов. *БИОпрепараты. Профилактика, диагностика, лечение*. 2018; 18(1): 25–32.
14. Астрелина Т. А., Гомзяков А. Е., Кобзева И. В. Оценка качества и безопасности применения криоконсервированных мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток плаценты в клинической практике. *Клеточная трансплантология и тканевая инженерия*. 2013; Т. 8; 4: 82–87.
15. Веремеев А. В., Болгарин Р. Н., Петкова М. А. Стромально-васкулярная фракция жировой ткани как альтернативный источник клеточного материала для регенеративной медицины. *Гены & клетки*. 2016; 11(1):1–8.
16. Смышляев И. А., Гильфанов С. И., Копылов В. А. Оценка безопасности и эффективности внутрисуставного введения стромально-васкулярной фракции жировой ткани для лечения гонартроза: промежуточные результаты клинического исследования. *Травматология и ортопедия России*. 2017;23(3):17–31.
17. Kuo Y. R., Wang C. T., Cheng J. T., Kao G. S., Chiang Y. C., Wang C. J. Adipose-derived stem cells accelerate diabetic wound healing through the induction of autocrine and paracrine effects. *Cell Transplant*. 2016; 25(1):71–81.
18. You D., Jang M. J., Kim B. H., Song G., Lee C., Suh N., Jeong I. G., Ahn T. Y., Kim C. Comparative study of autologous stromal vascular fraction and adiposederived stem cells for erectile function recovery in a rat model of cavernous nerve injury. *Stem Cells Transl Med*. 2015;4(4):351–358.
19. Dellis A., Papatsoris A. Stem cell therapy for the treatment of Peyronie's disease. *Expert Opin Bio ITher*. 2017;17(4):407–413.
20. Badimon L., Oñate B., Vilahur G. Adiposederived Mesenchymal Stem Cells and Their Reparative Potential in Ischemic Heart Disease. *Rev EspCardiol*. 2015;68(7):599–611.
21. Beche-Adams T. H. Rectovaginal fistulas. *Clin. Colon. Rectal. Surg*. 2010; 2: 99–1.

© Терюшкова Жанна Ивановна, Васильев Вячеслав Сергеевич,  
 Важенин Андрей Владимирович, Васильев Сергей Александрович,  
 Ломакин Евгений Алексеевич, Димов Георгий Павлович ( danil-porov97@mail.ru ).  
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ОПЕРАТИВНОЕ ЛЕЧЕНИЕ ТРАВМАТИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПОЛОВОГО ЧЛЕНА. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### SURGICAL TREATMENT OF TRAUMATIC INJURIES OF THE PENIS. LITERATURE REVIEW

**V. Shalin  
A. Terichev  
S. Markosyan  
B. Suvanov  
A. Gechas**

*Summary.* Injuries to the male penis are relatively rare in modern times, but when analyzing the data of the trauma, it is interesting that young and middle-aged men come to the emergency department from injuries. In most cases, the urologist is faced with closed injuries, but there are also open injuries.

*Keywords:* penis, damage, wound, urology, defect.

**Шалин Владислав Витальевич**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарева»  
vladshalin190@gmail.com

**Теричев Александр Ефимович**

К.м.н., доцент, ФГБОУ ВО «Национальный  
исследовательский Мордовский государственный  
университет им. Н.П. Огарева»  
terichevae@rambler.ru

**Маркосьян Сергей Анатольевич**

Д.м.н., профессор, ФГБОУ ВО «Национальный  
исследовательский Мордовский государственный  
университет им. Н.П. Огарева»  
markosyansa@mail.ru

**Суванов Бахтияр Сабитханович**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарева»  
bahtiyar.suvanov@yandex.ru

**Гечас Андрей Александрович**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарева»  
skywtf8@gmail.com

*Аннотация.* Травмы мужского полового члена в современное время встречаются относительно редко, но при анализе данных травмы интересен факт, что с повреждений в приемное отделение обращаются мужчины молодого и среднего возраста. В большинстве случаев врач-уролог сталкивается с закрытыми повреждениями, но имеют место быть и открытые ранения.

*Ключевые слова:* член, повреждения, рана, урология, дефект.

### Анатомия

**М**ужской половой член — наружный половой мочевыделительной и репродуктивной системы человека, несущий в себе функции выделения мочи, семенной жидкости и получения удовлетворения. Макроскопически выделяют два отдела: фиксированный и подвижный. Данные отделы имеют в своем составе несколько частей: корень, тело, в котором выделяют спинку и уретральную часть, шейку и головку. На головке полового члена выделяют наружное отверстие уретры и закругленную часть — венеч. Снаружи головка покрыта крайней плотью, состоящую из двух листков. Свя-

зочный аппарат члена представлен двумя связками — поверхностная подвешивающая связка и глубокая подвешивающая связка. Мышц, приводящих член в движение тоже две — луковично-губчатая и седалищно-пещеристая мышца[1].

Микроскопически член состоит из губчатого и пещеристых тел. Губчатое тело, одиночное, начинается луковичей полового члена и переходя по борозде между пещеристыми телами заканчивается расширенной частью — головкой; снаружи покрыто белочной оболочкой. Внутри губчатого тела проходит мочеиспускательный канал[1,2].

Пещеристые тела — это парные части полового органа, снаружи покрытые белочной оболочкой. По срединной линии белочная оболочка срастается, формируя перегородку, на которой находятся две борозды — верхняя и нижняя. На верхней проходят сосуды и нервы полового члена, на нижней находится губчатое тело[2].

Артериальное кровоснабжение кожи данной области осуществляется за счет ветвей наружной половой артерии и дорсальной артерии пениса. Пещеристые и губчатое тела кровоснабжаются луковичной артерией пениса, дорсальной артерией пениса и глубокой артерией пениса. Венозный отток происходит за счет дорсальной поверхностной и глубокой вен пениса[3].

### Классификация

В зависимости от степени тяжести Европейская урологическая ассоциация выделяет следующие виды травм полового члена:

- I — повреждение покровных тканей, ушиб пениса
- II — повреждение фасции Бука, окружающей губчатое и кавернозные тела
- III — разрывы тканей (головки полового члена, мочеиспускательного канала, пещеристого тела) с протяженностью дефекта менее 2 см
- IV — разрыв мочеиспускательного канала, пещеристого тела с протяженностью дефекта более 2 см; частичная ампутация полового члена
- V — полная травматическая ампутация полового члена.

По виду повреждения выделяют следующие повреждения:

1. Ушиб полового члена
2. Перелом
3. Вывих
4. Ущемление
5. Ранение
6. Отморожение
7. Ожог
8. Частичная или полная ампутация

### Перелом полового члена

Перелом полового члена является наиболее частой проблемой при повреждении члена. Данный вид травмы возникает при резком и сильном сгибании эрегированного органа во время секса, мастурбации и многих других, проявляется повреждением белочной оболочки в сочетании с гематомой, повреждением губчатого или кавернозного тела и возможным повреждением уретры. Основными клиническими проявлениями являются сильная боль, резкое прекращение эрекции, уретроррагия, гематурия, отек, посинение, хруст и искривление[3,4].

Лечения таких травм в основном хирургическое. При оперативном лечении выполняется циркулярный разрез по внутренней поверхности крайней плоти, кожа смещается проксимально к корню. При обнаружении инкапсулированной гематомы под фасцией Бука, ее вскрывают, гематому удаляют. Проводят гемостаз, дефект белочной оболочки ушивают. Перед зашиванием операционной раны выполняют циркумцизию, оставшийся участок кожи подшивают к коже, расположенной у основания венца. Накладывают асептическую и фиксирующую повязки[5].

**Открытые раны полового члена.** Данные виды повреждений сопровождаются нарушением целостности кожных покровов. Они являются результатом воздействия механических сил на половой орган, сопровождающийся наличием раны, кровотечением и болью, вплоть до травматического и геморрагического шока[6,7].

Выбор хирургической тактики зависит от типа раны, от объема повреждений и от сопутствующих заболеваний. При оперативном лечении колото-резаных ран объем лечения сводится к катетеризации мочевого пузыря, первичной хирургической обработке раны, наложении швов атравматичной нитью и фиксации полового члена на процесс заживления[8,9].

При скальпированных ранах с дефектами тканей применяются различные методы кожной пластики. При дефекте тела полового члена с сохранившимися частями кожи у венца головки и у основания члена применяется метод расщепленным кожным лоскутом. Данные участки кожи подшивают к стволу. После возникновения грануляций начинается этап кожной пластики. С участка бедра или живота при помощи дерматома берут кожный трансплантат необходимой длины. Для уменьшения болезненности и деформаций при эрекции целесообразно применять Z-образный метод кожной пластики. Для этого на трансплантате делают несколько насечек, тем самым удлиняя трансплантат. Края трансплантата подшиваются к дистальному и проксимальному кожным дефектам. Член фиксируется мягкой повязкой[10,11].

При сочетанных дефектах кожи полового члена и мошонки используется сочетание пластики расщепленным кожным трансплантатом и перфорированным кожным лоскутом. С внутренней поверхности бедра берут несколько кожных лоскутов с использованием дерматома. Один из трансплантов укладывают на ствол члена так, чтобы срединный шов располагался на тыльной или вентральной поверхности. Делают несколько насечек на трансплантате и подшивают в коже венца и оставшейся куску кожи в области мошонки. В дальнейшем для закрытия дефекта кожи мошонки используют расщепленный кожный трансплантат. Второй

кожный лоскут перфорируют при помощи скальпеля, укладывают на область трансплантации, подшивают к оставшимся участкам кожи, накладывают асептическую повязку[12].

## Ампутация

Травматические ампутации полового члена подразделяются на полные и частичные. При полных ампутациях проводятся операции по реимплантации полового члена. При неполных ампутациях можно применять методы реимплантации, либо формирование культи[13].

Реплантация полового члена проводится под общим обезболиванием с использованием микроскопа. Перед операцией мочевой пузырь катетеризируют катетером Фолея, накладывают жгут на основание члена и накладывают эпицистостому. На срезах культи культи инденцифицируют тыльную глубокую дорсальную вену и пещеристые артерии, оставшиеся сосуды лигируют. Временно снимают жгут, ретроградно катетеризируют ампутированную часть полового члена. Сшиваются двухрядным швом конца мочеиспускательного канала и губчатого тела. Белочную оболочку пещеристых тел сшиваются инвертированными швами. Формируют микрососудистый анастомозы между венами и артериями,

накладывают эпинеуральный шов не нерв. Фасции Бука и Коллиса ушивают узловыми швами. Узловые швы на кожу. Накладывают асептическую повязку[14].

При невозможности реплантации прибегают к формированию культи. Перед началом операции на основание члена накладывают жгут. На оставшихся частях кожи намечают тыльный лоскут. Делают надрез кожи и пещеристых тел так, чтобы губчатое тело выступало на 1 см. Ушивают пещеристые тела узловыми инвертированными швами. На тыльной поверхности уретры делают небольшой надрез, тем самым расширяя ее просвет. На оставшемся участке кожи делают V-образный разрез под будущее отверстие. Края отверстия подшивают к уретре и к коже вентральной поверхности. Накладывают асептическую и фиксирующую повязки[15].

## Заключение

Не смотря на современное оснащение и получении новых методов и знаний в области оперативной урологии, повреждение полового члена являются для мужчин не только физической, но и психологической травмой. Поэтому, для предотвращения травм необходимо быть аккуратным и в определенных случаях соблюдать технику безопасности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хинман Ф. Оперативная урология: пер. с англ. М.: ГЭОТАР-МЕД, 2001. 1192 с.
2. Гайворонский И. В., Ничипорук Г. И. Анатомия органов мочеполовой системы: учебное пособие. СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2006. 80 с.
3. Басок С. М., Кызласов П. С., Кобзарев А. П., и др. Хирургическое лечение тупой травмы (перелома) полового члена с повреждением уретры // Урологические ведомости. — 2018. — Т. 8. — № 4. — С. 33–36
4. Казаров Р. Л., Абилов А. А., Бекр Х. А., Дубинский В. Я. Травма полового члена (описание клинических наблюдений) // Урологические ведомости. 2016. Том 6. № 4. С. 37–39.
5. Урология: Национальное руководство / Под ред. Лопаткин Н. А. М.: ГЭОТАР-медиа, 2009. 1024 с.
6. Нечипоренко Н. А., Нечипоренко А. Н. Урология: учебное пособие. УО: «ГрГМУ», 2009. 215 с.
7. Щеплев П. А., Гвасалия Б. Р., Ипатенков В. В. Травма полового члена как причина артериальной формы приапизма. // Андрология и генитальная хирургия. 2014. С. 76–79.
8. Файзулин А. К., Поддубный И. В., Федорова Е. В., Беспалова И. С. Лечение детей с ампутациями полового члена // Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии. 2012. Том 2, № 3. С. 34–37.
9. Ишанкулов А. М., Аллазов С. А., Ахмедов Ю. М., Дарханов Ж. А., Ишанкулов О. А. Удачный случай свободной реплантации суицидально ампутированного полового члена // Вестник экстренной медицины. 2013. № 1. С. 56–58.
10. Абдурахманов А. К., Копылов В. А. Травматическая ампутация полового члена // Казанский медицинский журнал. 2014. Том 95, № 1. С. 116–117.
11. Аль-Шукри С.Х., Боровец С. Ю., Голощапов Е. Т., Горбачев А. Г., Белоусов В. Я., Борискин А. Г., Рыбалов М. А. Клинические рекомендации по оказанию скорой медицинской помощи при травме мужских мочеполовых органов, инородном теле уретры и мочевого пузыря, фимозе и парафимозе // Урологические ведомости. 2013. Том III, № 4. С. 22–28.
12. Касторных Е. Н., Матчин Е. Н., Матюшкин Р. В., Огольцова В. А. Перелом полового члена, (патогенез, клиника, лечение) // Вестник новых медицинских технологий. 2009. Том XVI, № 2. С. 64–65.
13. Басок С. М., Кызласов П. С., Кобзарев А. П., и др. Хирургическое лечение тупой травмы (перелома) полового члена с повреждением уретры // Урологические ведомости. — 2018. — Т. 8. — № 4. — С. 33–36.
14. Воробьев В. А., Белобородов В. А. Редкий клинический случай. Формирование искусственной уретры после ампутации полового члена. Acta Biomedica Scientifica. 2017;2(6):104–109.
15. Кызласов П. С., Соколыщик М. М., Кажера А. А., Забелин М. В. Исторические аспекты фаллопластики. Исследования и практика в медицине. 2017; 4(3): 86–92.

16. Соколышк М. М., Кызласов П. С., Мазуренко Д. А., Кажера А. А., Фирсова Д. В. Клинический случай формирования неофаллоса из торакодорсального лоскута у пациента с электротравмой. Медицинский вестник Башкортостана. 017;12(3):135–138.
17. Урология. Под ред. С. Х. Аль-Шукри и В. Н. Ткачука (учебник). М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. 480 с.
18. Summerton D. J., Djakovic N., Kitrey N. D. et al., eds. Guidelines of Urological Trauma. Eur. Ass. of Urology, 2014. 76 p.
19. Судебно-медицинская экспертиза при повреждениях половых органов мужчин / Дмитриева О. А. // Судебно-медицинская экспертиза. — М., 2003. — № 2. — С. 35.
20. Djordjevic M. L., Palminteri E., Martins F. (2014). Male genital reconstruction for the penile cancer survivor. Curr Opin Urol, 24 (4), 427–433.
21. Garaffa G., Raheem A. A., Christopher N. A., Ralph D. J. (2009). Total phallic reconstruction after penile amputation for carcinoma. BJU Int, 104 (6), 852–856.
22. Gerullis H., Georgas E., Bagner J. W., Eimer C., Otto T. (2013). Construction of a penoid after penectomy using a transpositioned testicle. Urol Int, 90 (2), 240–242
23. Philippou P., Shabbir M., Malone P., Nigam R., Muneer A., Ralph D. J., Minhas S. (2012). Conservative surgery for squamous cell carcinoma of the penis: resection margins and long-term oncological control. J Urol, 188 (3), 803–808
24. Gurjala A. N., Nazerali R. S., Salim A., Lee GK. World's First Baby Born Through Natural Insemination by Father with Total Phalloplasty Reconstruction. Ann Plast Surg. 2016; 76 (3): 179–183.
25. Salgado C. J., Monstrey S., Hoebeke P., Lumen N., Dwyer M., Mardi-niS. Reconstruction of the penis after surgery. UrolClin North Am. 2010; 37 (3): 379–401.

© Шалин Владислав Витальевич ( vladshalin190@gmail.com ), Теричев Александр Ефимович ( terichevae@rambler.ru ),  
Маркосьян Сергей Анатольевич ( markosyansa@mail.ru ), Суванов Бахтияр Сабитханович ( bahtiyar.suvanov@yandex.ru ),  
Гечас Андрей Александрович ( skywtf8@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва

# ПОКАЗАТЕЛИ ВЫЖИВАЕМОСТИ И ЭКСПРЕССИЯ НЕЙРОЭНДОКРИННЫХ МАРКЕРОВ ПРИ ЭНДОМЕТРИОИДНОМ И СЕРОЗНОМ РАКЕ ЯИЧНИКОВ

## SURVIVAL RATES AND EXPRESSION OF NEUROENDOCRINE MARKERS IN ENDOMETRIOID AND SEROUS OVARIAN CANCER

**K. Yagafarova  
G. Raskin  
V. Vinokurov  
M. Mukhina**

*Summary.* Currently, epithelial ovarian cancer remains one of the main causes of death from malignant neoplasms in women and has a persistent tendency to increase its incidence among all segments of the population. Under these conditions, a promising direction is the search for immunohistochemical markers of disease prognosis. This work analyzes the overall and disease-free survival of patients with ovarian cancer depending on the histological type of the tumor and the expression of neuroendocrine markers.

*Keywords:* overall and disease-free survival, neuroendocrine markers, ovarian cancer.

**Ягафарова Карина Робертовна**

Врач–онколог, аспирант, Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова  
vahitova-20@mail.ru

**Раскин Григорий Александрович**

Д.м.н., доцент, Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова

**Винокуров Владимир Леонидович**

Д.м.н., профессор, Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова

**Мухина Марна Семеновна**

К.м.н., с.н.с., Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова

*Аннотация.* В настоящее время эпителиальный рак яичников остается одной из основных причин смерти от злокачественных новообразований у женщин и имеет стойкую тенденцию к увеличению встречаемости среди всех слоев населения. В этих условиях перспективным направлением является поиск иммуногистохимических маркеров прогноза заболевания. В данной работе проведен анализ общей и безрецидивной выживаемости больных раком яичников в зависимости от гистологического типа опухоли и экспрессии нейроэндокринных маркеров.

*Ключевые слова:* общая и безрецидивная выживаемости, нейроэндокринный маркеры, рак яичников.

**В** настоящее время эпителиальный рак яичников продолжает оставаться одной из основных причин смерти от злокачественных новообразований у женщин и имеет стойкую тенденцию к увеличению встречаемости среди всех слоев населения. При первичном обращении у 70–80% пациенток диагностируется III–IV стадия заболевания [1, 2]. В этих условиях перспек-

тивным направлением является поиск иммуногистохимических маркеров прогноза заболевания.

### Цель исследования

Анализ общей и безрецидивной выживаемости больных раком яичников в зависимости от варианта гистоло-

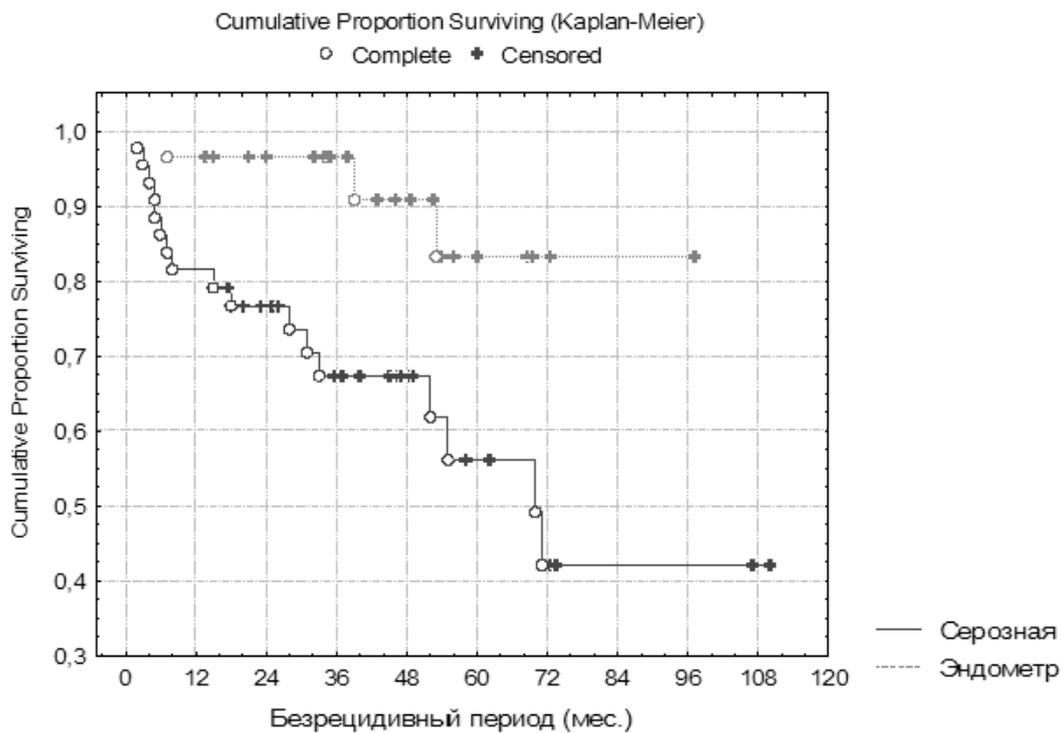


Рис. 1. Безрецидивная выживаемость у пациенток с различными гистологическими типами опухоли яичников,  $p < 0,01$

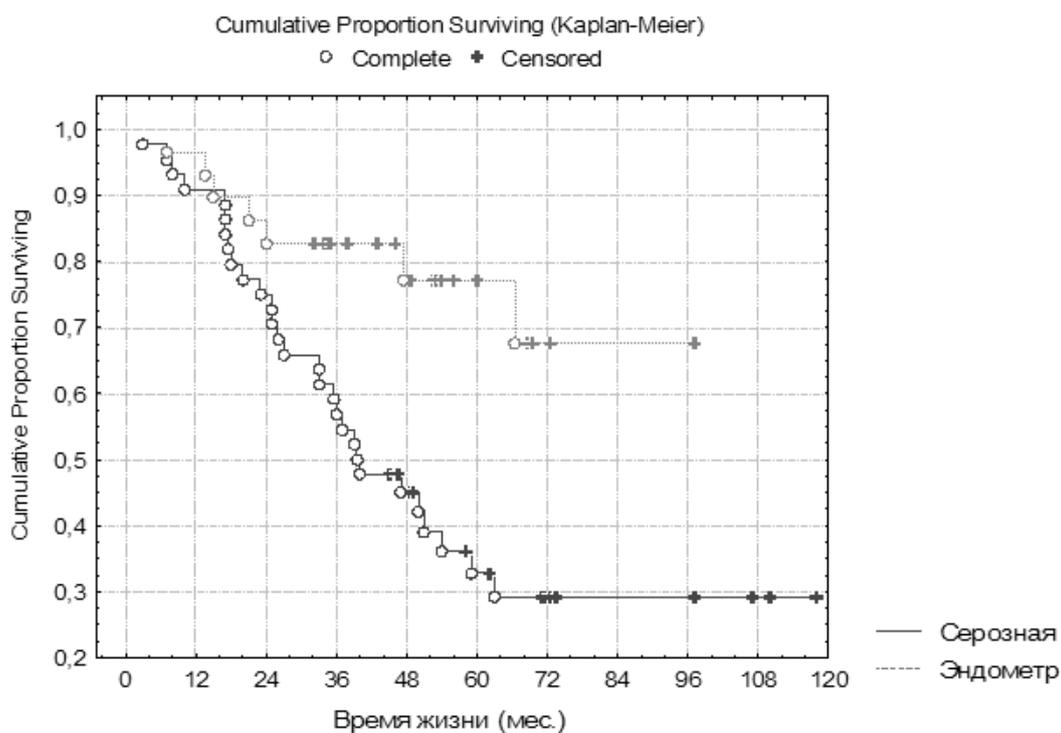


Рис. 2. Общая выживаемость в группах серозной и эндометриоидной аденокарциномы яичников,  $p = 0,012$

Таблица 1. Зависимость общей и безрецидивной выживаемости больных раком яичников и экспрессии нейроэндокринных маркеров

Маркер	Общая выживаемость	Безрецидивная выживаемость
Хромогранин А	p=0,61	p=0,28
Синаптофизин	p=0,014	p=0,005
CD56	p=0,97	p=0,63
Соматостатин 2 типа	p=0,1	p=0,74
Соматостатин 5 типа	p=0,83	p=0,58

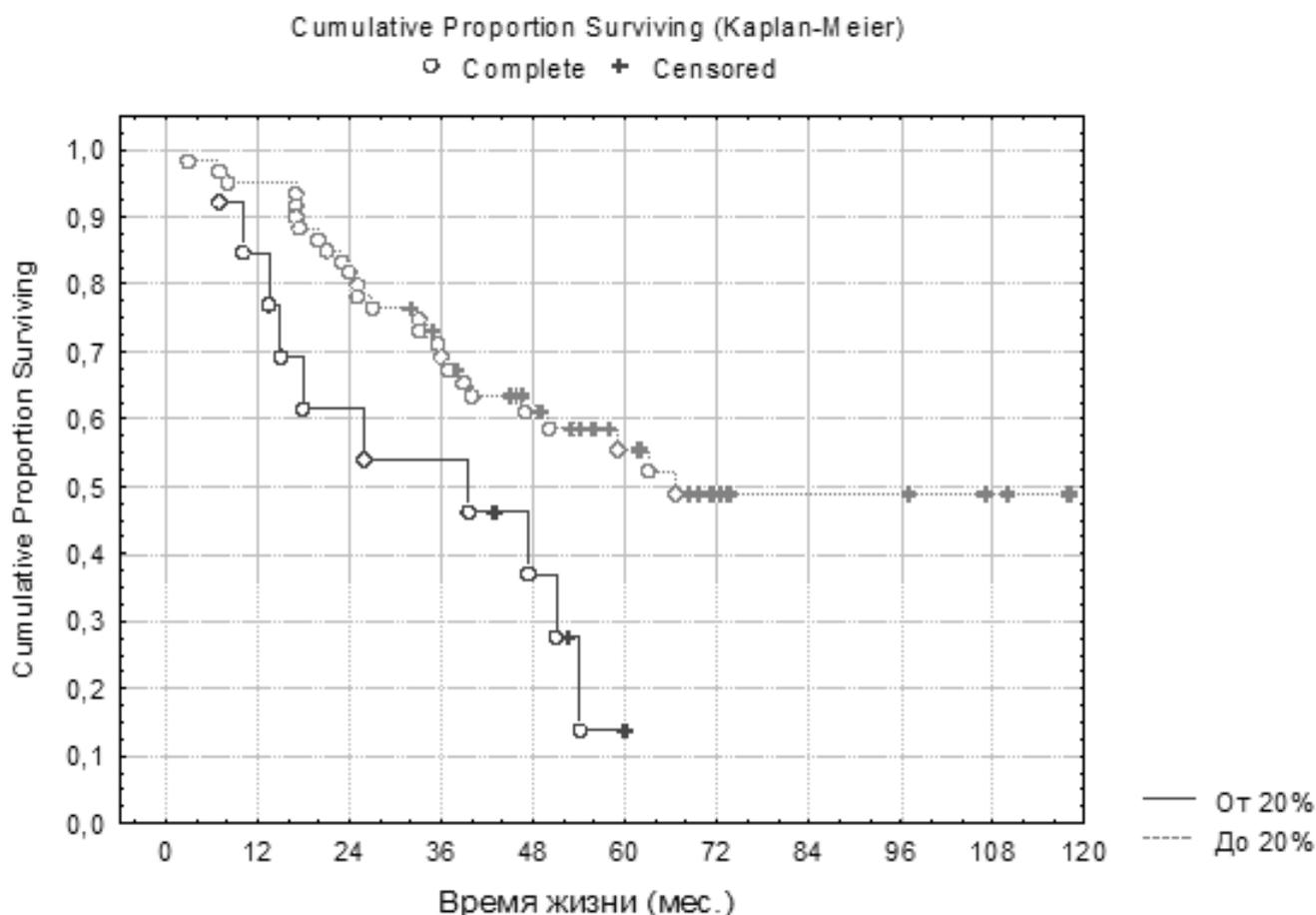


Рис. 3. Взаимосвязь между общей выживаемостью и экспрессией синаптофизина, p=0,014

гического строения опухоли и экспрессии нейроэндокринных маркеров.

#### Материалы и методы

В настоящее ретроспективное исследование были включены 73 пациентки с морфологически верифицированным эндометриоидным и серозным раком яич-

ников, которые прошли специальное лечение с 2009 г. по 2018 г. в ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова» и СПбГБУЗ «Городской клинический онкологический диспансер». Все пациентки разделены на группу эндометриоидного рака яичника (n=29, средний возраст 55,14±12,18 лет) и группу серозного рака яичника высокой степени злокачественности (n=44,

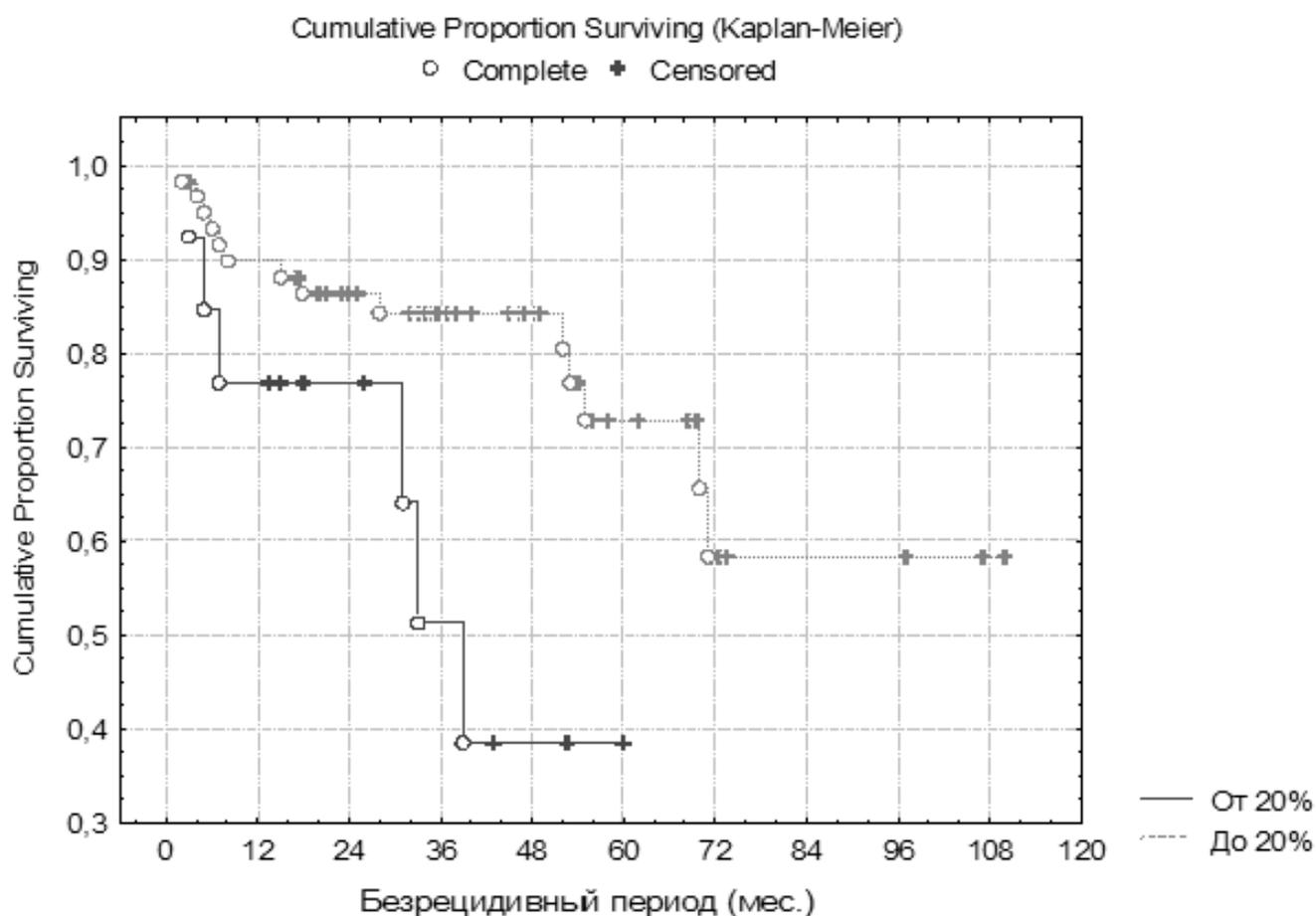


Рис. 4. Взаимосвязь между безрецидивной выживаемостью и экспрессией синаптофизина,  $p=0,005$

средний возраст  $60,07 \pm 10,3$  лет). Диагноз был установлен на основании данных клинических, лабораторных исследований, морфологической верификации и иммуногистохимического исследования.

Иммуногистохимическое исследование осуществлялось на парафиновых срезах толщиной 3–4 мкм авидин-биотин-пероксидазным методом по стандартной методике с использованием первичных антител [3].

Анализ общей и безрецидивной выживаемости проводился с использованием метода Каплана-Майера. Для оценки достоверности различий применялся лог-ранк-тест. Критерием статистической достоверности полученных выводов была принята величина  $p < 0,05$  [4].

### Результаты и обсуждение

Большинство женщин в группе эндометриоидного рака яичников имели II стадию заболевания — 26 (89,66%) и 3 пациентки (10,34%) — I стадию. В группе серозной аденокарциномы яичников *high-grade* III–IV ста-

дии, преобладала III стадия заболевания — 31 (70,45%), пациентки с IV стадией составили — 29,55%. У 60,27% больных наблюдались опухоли высокой степени злокачественности, у 31,51% — опухоли с умеренной степенью дифференцировки и в 8,22% случаев выявлены высокодифференцированные опухоли с низкой степенью злокачественности.

В зависимости от степени распространенности опухолевого процесса, всем пациенткам было выполнено оперативное лечение разного объема: пангистерэктомия с оменэктомией проведена 51 пациентке, среди них 22 (43,14%) — с серозной аденокарциномой *high-grade* и 29 (56,86%) — с эндометриоидной аденокарциномой рака яичников. Надвлагалищная ампутиация матки с придатками и резекцией большого сальника, а так же 2-х сторонняя аднексэктомия с резекцией большого сальника были проведены только пациенткам с серозной аденокарциномой высокой степени злокачественности, соответственно — 19 (100%) и 3 (100%) случая заболевания. Все больные в адъювантном режиме получали 6 циклов стандартной полихи-

миотерапии с последующей оценкой эффекта от проведенного лечения.

Безрецидивная выживаемость была проанализирована в группе пациентов, достигших полной ремиссии заболевания. При определении продолжительности безрецидивной выживаемости у пациенток с различными гистологическими типами опухоли яичников выявлено, что медиана безрецидивной выживаемости в группе серозной аденокарциномы рака яичников составила 68,2 месяца, в группе эндометриоидной аденокарциномы — медиана не достигнута. Различия оказались статистически значимыми,  $p < 0,01$  (рис. 1).

Анализ общей выживаемости также позволил выявить значимые различия среди пациенток с различными гистологическими типами опухоли: медиана общей выживаемости у пациенток с эндометриоидной аденокарциномой не достигнута, а у пациенток с серозной аденокарциномой составила 39,5 месяца. 25% квартиль в группе серозной аденокарциномы составляет 23 месяца, в группе эндометриоидной аденокарциномы — 51,9. Различия оказались статистически значимыми,  $p = 0,012$  (рис. 2).

Анализ зависимости общей и безрецидивной выживаемости больных раком яичников и экспрессии нейроэндокринных маркеров, позволил выявить достоверное

различие только для синаптофизина,  $p < 0,01$  (табл. 1, рис. 3,4).

## ВЫВОДЫ

Выявлены достоверные различия общей и безрецидивной выживаемости у пациенток с различными гистологическими типами опухоли яичников: медиана общей выживаемости при эндометриоидной аденокарциноме не достигнута, а при серозной аденокарциноме она составила 39,5 месяца ( $p < 0,05$ ); медиана безрецидивной выживаемости в группе серозной аденокарциномы рака яичников составила 68,2 месяца, в группе эндометриоидной аденокарциномы — медиана не достигнута ( $p < 0,05$ ).

Медианы общей выживаемости и безрецидивного периода у пациенток раком яичников достоверно отличались в зависимости от уровня экспрессии синаптофизина ( $p < 0,05$ ). Таким образом, экспрессия синаптофизина, может быть одним из прогностически значимых факторов течения рака яичников. Исходя из полученных данных, можно предположить, что высокая экспрессия синаптофизина может расцениваться как показатель неблагоприятного прогноза и связана с худшей выживаемостью. Однако требуется дальнейшее изучение экспрессии нейроэндокринных маркеров при раке яичников.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Радостев С. И., Шелехов А. В., Дворниченко В. В., Морилов Д. Д., Медведников А. А., Лазарева Е. О. Лечение распространенного рака яичников на современном этапе. Забайкальский медицинский вестник. 2020; 3: 38–44.
2. Wilson M. K., Pujade-Lauraine E., Aoki D., Mirza M. R., Lorusso D., Oza A. M. et al. Fifth Ovarian Cancer Consensus Conference of the Gynecologic Cancer InterGroup: recurrent disease. *Ann Oncol.* 2017;28(4):727–732.
3. Dabbs D. J. *Diagnostic Immunohistochemistry.* Elsevier Science, 2010.
4. Gray RJ. A class of K-sample tests for comparing the cumulative incidence of a competing risk. *The Annals of Statistics.* 1988; 16(3):1141–1154.

© Ягафарова Карина Робертовна ( vahitova-20@mail.ru ), Раскин Григорий Александрович,  
Винокуров Владимир Леонидович, Мухина Марна Семеновна.  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## НАШИ АВТОРЫ OUR AUTHORS

**Akhmedova N.** — Cand. Biol. Sci., Associate Professor, Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad

**Aldatov T.** — Post-graduate student, First St. Petersburg State Medical University. Academician I.P. Pavlov, St. Petersburg, Russia  
aldatov.t@mail.ru

**Apanasenko A.** — Graduate student, Ural Federal University (Yekaterinburg)  
stacy-chan@yandex.ru

**Berg D.** — Doctor of physical and mathematical sciences, professor, Ural Federal University (Yekaterinburg)

**Biragov D.** — Neurosurgeon, SOGAZ Medical Center, Gelendzhik  
davidsbir@yandex.ru

**Borovetskaya M.** — Neurologist, Moscow Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow  
mari.boroveczkaya@bk.ru

**Borshevnikov A.** — Senior lecturer, Far eastern federal university (Vladivostok)  
borshevnikov.ae@dvvfu.ru

**Butkovsky A.** — Research Associate, The Center for Environmental Research. Helmholtz, Leipzig, Germany

**Cherebello V.** — M.D., Professor, First Saint Petersburg state medical University. Academician I.P. Pavlov, St. Petersburg, Russia  
cherebillo@mail.ru

**Derbentseva T.** — Candidate of Medical Sciences, assistant, Volgograd State Medical University (Volgograd)  
TVDerbentseva@volgmed.ru

**Dimov G.** — Candidate of Medical Sciences, Researcher, South Ural State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Chelyabinsk  
danil-popov97@mail.ru

**Dobrzhinskii Yu.** — PhD, professor, Far eastern federal university (Vladivostok)  
dobrzhinskii.yv@dvvfu.ru

**Doronina G.** — Postgraduate student, Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky  
galserdor@gmail.com

**Dragoon V.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, I.I. Mechnikov NWSMU, Chief Neurosurgeon of the Leningrad region, Deputy Chief Physician for Surgery of the Leningrad Regional Clinical Hospital  
dragun\_vm@mail.ru

**Eremenko I.** — International School "Medicine of the Future"; Sechenov University, Moscow  
dvavani@mail.ru

**Gechas A.** — FGBOU VO "National Research Mordovia State University N.P. Ogarev"  
skywtf8@gmail.com

**Gofman M.** — Ph. D., associate professor, St. Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I  
maxgof@gmail.com

**Golodkov Yu.** — PhD, Associate Professor of the Irkutsk National Research Technical University  
yrg27@mail.ru

**Goncharov S.** — PhD, professor, G.I. Nevelskoi Maritime State University (Vladivostok)  
sgprim143@gmail.com

**Gorelov M.** — Bauman Moscow State Technical University  
misha\_gorelov@mail.ru

**Grinko E.** — Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin

**Kapetsky I.** — Senior Lecturer, Far Eastern Federal University, Vladivostok  
ikapecikij@mail.ru

**Karsanov A.** — Candidate of Medical Sciences, docent, North Ossetian State Medical Academy (Vladikavkaz)  
karsan@inbox.ru

**Kultchiev A.** — Doctor of Medical Sciences, professor, North Ossetian State Medical Academy (Vladikavkaz)  
kulchiev.ahsarbek@yandex.ru

**Lomakin E.** — South Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Chelyabinsk

**Magomedov M.** — Dagestan State Medical University Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
muxua@mail.ru

**Makarova E.** — Candidate of Biological Sciences; Associate Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin  
lelemakarov@mail.ru

**Markosyan S.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, FGBOU VO "National Research Mordovia State University N.P. Ogarev "  
markosyansa@mail.ru

**Maskin S.** — Doctor of Medical Sciences, professor, Volgograd State Medical University (Volgograd)  
maskins@bk.ru

**Milyukov P.** — Teacher, Pacific State University, Khabarovsk  
Pavel-milukov@mail.ru

**Mitrofanov S.** — PhD student, Moscow Aviation Institute (National Research University)  
seymitrofanov@mai.ru

**Moiseev A.** — Post-graduate student, Pirogov Russian National Research Medical University (RNRMU)  
alexi.moiseev@gmail.com

**Moshenskaya S.** — PhD, doctor of medical examiner, GBUZ "Bureau of forensic medical examination" of the Department of health of Moscow city  
tsp-12@list.ru

**Mukhina M.** — Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, Russian Scientific Center for Radiology and Surgical Technologies named after Academician A.M. Granov

**Muskhadzhiev A.** — Candidate of Medical Sciences, Assistant, FSBEI HE "Dagestan State Medical University "MH RF  
muskhadzhiyev76@list.ru

**Myasoutov R.** — Postgraduate student, Volgograd State University  
ramilmyasoutov@yandex.ru

**Nazarova O.** — Candidate of technical Sciences, associate Professor, Don state technical University (Rostov-on-Don)  
olga2018rostov@yandex.ru

**Odintsova M.** — Ph.D. (Econ.), associate professor, MIREA — Russian Technological University (Moscow)  
maryod@rambler.ru

**Osmanov O.** — State Budgetary Healthcare Institution City Clinical Hospital No. 67, Moscow  
omarov@mail.ru

**Panachev A.** — Graduate student, Ural Federal University (Yekaterinburg)

**Pham T.** — Saint Petersburg National Research University ITMO  
anhpt@itmo.ru

**Raskin G.** — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Center for Radiology and Surgical Technologies named after Academician A.M. Granov

**Remizov O.** — Doctor of Medical Sciences, Rector of North Ossetian State Medical Academy (Vladikavkaz)  
oleg\_remizov@mail.ru

**Rudenko M.** — PhD, Professor of the East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia  
rudenko@inbox.ru

**Rybnikov S.** — D.Sc. in Engineering, Moscow Aviation Institute (National Research University)

**Sagdeev A.** — Candidate of technical Sciences, associate Professor, Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications  
brother-aks@yandex.ru

**Saltanova T.** — Associate Professor, Tyumen State University  
tsaltanova@mail.ru

**Savelyeva M.** — MD, Professor, FSBEI DPO RMAPO of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow  
marinasavelyeva@mail.ru

**Shalin V.** — FGBOU VO "National Research Mordovia State University N.P. Ogarev "  
vladshalin190@gmail.com

**Sherman N.** — Postgraduate student, Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad  
nik172008@mail.ru

**Shilina A.** — Candidate of technical Sciences, associate Professor, South Russian state Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov (Novocherkassk)

**Simonyan T.** — Candidate of Medical Sciences, teacher, Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute - branch of Volgograd State Medical University  
shpitzbaum@mail.ru

**Solovyov S.** — Candidate of technical Sciences, chief designer, RSC Energia S.P. Korolev  
sergey.soloviev@scsc.ru

**Stakheev I.** — Candidate of technical Sciences, associate Professor, Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications

**Suvanov B.** — FGBOU VO "National Research Mordovia State University N.P. Ogarev "  
bahtiyar.suvanov@yandex.ru

**Terichev A.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, FGBOU VO "National Research Mordovia State University N.P. Ogarev "  
terichevae@rambler.ru

**Teryushkova Zh.** — Candidate of Medical Sciences, Municipal Autonomous Healthcare Institution of the Order of the Badge of Honor City Clinical Hospital No. 8, Chelyabinsk

**Titova O.** — Candidate of technical Sciences, associate Professor, Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications

**Tretyak A.** — PhD student, Far Eastern Federal University, Vladivostok  
alextretyak2@gmail.com

**Usol'cev D.** — Irkutsk National Research Technical University  
usoltzeff.dmitry2016@yandex.ru

**Vasilyev S.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, South Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Chelyabinsk

**Vasilyev V.** — Candidate of Medical Sciences, Assistant, South Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Chelyabinsk

**Vavanov D.** — Lecturer, Moscow State University of Civil Engineering  
kohinor51@yandex.ru

**Vazhenin A.** — Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, South Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Chelyabinsk

**Vereshchagina E.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Far Eastern Federal University, Vladivostok  
everesh@mail.ru

**Vinokurov V.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Russian Scientific Center for Radiology and Surgical Technologies named after Academician A.M. Granov

**Yagafarova K.** — Doctor-oncologist, graduate student, Russian Scientific Center for Radiology and Surgical Technologies named after Academician A.M. Granov  
vahitova-20@mail.ru

**Zhdanova Yu.** — MIREA - Russian Technological University  
musrosjkg@gmail.com

**Zhurbenko V.** — Kursk state medical University  
prepvermed@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) ).

