



# ВРАЧ

И ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ

№4 2024

MEDICAL DOCTOR AND IT



ISSN 1811-0193  
9 1771811 019000 >



**№4 2024**

**MEDICAL DOCTOR AND IT**

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК по специальностям:

- 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки);
- 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей (технические науки);
- 3.3.9. Медицинская информатика (биологические науки);
- 3.3.9. Медицинская информатика (медицинские науки).

The journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications of the Higher Attestation Commission on specialties:

- 2.3.1. System analysis, management and information processing (technical sciences);
- 2.3.5. Mathematical and software support of computer systems, complexes and computer networks (technical sciences);
- 3.3.9. Medical Informatics (biological sciences);
- 3.3.9. Medical Informatics (medical sciences).

Журнал индексируется в базе данных Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science.

The journal is included in the Russian Science Citation Index (RSCI) database on the Web of Science platform.

### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Карпов О.Э.**, академик РАН, д.м.н., проф., генеральный директор ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

### ПОЧЕТНЫЙ ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Стародубов В.И.**, академик РАН, д.м.н., проф., научный руководитель ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, представитель России в Исполнительном Комитете ВОЗ, Москва, Россия

### ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

**Зарубина Т.В.**, д.м.н., член-корреспондент РАН, проф., заведующая кафедрой медицинской кибернетики и информатики, ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

**Гусев А.В.**, к.т.н., член экспертного совета Минздрава по вопросам использования ИКТ, старший научный сотрудник ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, директор по развитию компании «К-Скай», Петрозаводск, Россия

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Андриков Д.А.**, к.т.н., доцент Инженерной Академии ФГАОУ ВО РУДН, директор компании «Иммерсмед», Москва, Россия

**Владимирский А.В.**, д.м.н., заместитель директора по научной работе ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва, Россия

**Грибова В.В.**, член-корреспондент РАН, д.т.н., заместитель директора по научной работе ФГБУ «Институт автоматизации и процессов управления» Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, Россия

**Гулиев Я.И.**, к.т.н., директор Исследовательского центра медицинской информатики ИПС РАН им. А.К. Айламазяна, Ярославль, Россия

**Зингерман Б.В.**, руководитель направления цифровой медицины ИНВИТРО, Москва, Россия

**Карась С.И.**, д.м.н., специалист отдела координации научной и образовательной деятельности НИИ кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, Томск, Россия

**Лебедев Г.С.**, д.т.н., директор института цифровой медицины, заведующий кафедрой информационных и интернет технологий ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России, Москва, Россия

**Неусыпин К.А.**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой системы автоматического управления МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**Пролетарский А.В.**, д.т.н., профессор, декан факультета «Информатика и системы управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**Реброва О.Ю.**, д.м.н., профессор кафедры медицинской кибернетики и информатики, ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

**Столбов А.П.**, д.т.н., профессор кафедры организации здравоохранения, медицинской статистики и информатики ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России, Москва, Россия

**Храмов А.Е.**, д.ф.м.н., профессор, руководитель Балтийского центра нейротехнологий и искусственного интеллекта Балтийского федерального университета им. И. Канта, Калининград, Россия

**Шахгельдян К.И.**, д.т.н., директор Научно-образовательного центра «Искусственный интеллект» ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», Владивосток, Россия

**Швырев С.Л.**, к.м.н. заместитель руководителя Регламентной службы федерального реестра НСИ ФГБУ ЦНИИОИЗ Минздрава России, Москва, Россия

### ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

**Писарчик А.**, к.б.н., проф., заведующий кафедрой вычислительной биологии, центр биомедицинских технологий, Мадридский технический университет, Мадрид, Испания

#### **CHIEF EDITOR**

**Karpov O.E.**, Academician of the RAS, DSc, Prof., General Director of the Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow, Russia

#### **HONORARY CHIEF EDITOR**

**Starodubov V.I.**, Academician of the RAS, DSc, Prof., Scientific Director of the FRIHOI of MoH of Russia, Representative of Russia in the WHO Executive Committee, Moscow, Russia

#### **DEPUTY CHIEF EDITORS**

**Zarubina T.V.**, DSc, Corresponding Member of the RAS, Ptof., Head of the Department of Medical Cybernetics and Informatics, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

**Gusev A.V.**, PhD, member of the expert council of the Ministry of Health on the use of ICT, Senior Researcher of the FRIHOI of MoH of Russia, development director of the K-Sky company, Petrozavodsk, Russia

#### **EDITORIAL BOARD**

**Andrikov D.A.**, PhD, Associate Prof. of the Engineering Academy of the RUDN University, Director of Immersmed, Moscow, Russia

**Vladimirsky A.V.**, DSc, Deputy Director for Research, Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies Department of Health of the City of Moscow, Moscow, Russia

**Gribova V.V.**, Corresponding Member of the RAS, DSc, Deputy Director for Research of the Federal State Budgetary Institution "Institute of Automation and Control Processes" of the Far Eastern Institute of the RAS Branch, Vladivostok, Russia

**Guliev Ya.I.**, PhD, Director of the Research Center for Medical Informatics of the Institute of Applied Problems of the Russian Academy of Sciences named after A.K. Ailamazyan, Yaroslavl, Russia

**Zingerman B.V.**, Head of Digital Medicine, INVITRO, Moscow, Russia

**Karas S.I.**, Dr. Sci. (Med), Specialist at the Department for Research and Training Coordination, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

**Lebedev G.S.** DSc, Director of The Digital Health Institute, Head of The Department of information and Internet technologies, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

**Neusypin K.A.**, DSc, Prof., Head of the Automatic Control Systems Dept., Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

**Proletarsky A.V.**, DSc, Prof., Dean of the Informatics, and Control Systems Department, Bauman University, Moscow, Russia

**Rebrova O.Yu.**, DSc, Prof. of the Department of Medical Cybernetics and Informatics, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

**Stolbov A.P.**, DSc, Prof. of the Department of Public Health Organization, Medical Statistics and Informatics of the Faculty of Professional Development of Doctors of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

**Khramov A.E.**, DSc, Prof., Head of Baltic Center for Neurotechnology and Artificial Intelligence, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

**Shakhgeldyan K.I.**, DSc, Director of the Scientific and Educational Center «Artificial Intelligence» Vladivostok State University, Vladivostok, Russia

**Shvyrev S.L.**, PhD, Deputy Head of the Regulatory Service of the Federal Register of the FRIHOI of MoH of Russia, Moscow, Russia

#### **FOREIGN MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:**

**Pisarchik A.**, PhD, Prof., Head of Department of Computational Biology, Center of Biomedical Technologies, Technical University of Madrid, Spain

Издается с 2004 года.

Включен в перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендуемых для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.

Читатели могут принять участие в обсуждении статей, опубликованных в журнале «Врач и информационные технологии», и направить актуальные вопросы в редакцию (vit-j@pirogov-center.ru).

Журнал зарегистрирован Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Товарный знак и название «Врач и информационные технологии» являются исключительной собственностью ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений, а также за то, что в материалах не содержится данных, не подлежащих открытой публикации.

Материалы рецензируются редакционной коллегией. Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Перепечатка текстов без разрешения журнала «Врач и информационные технологии» запрещена. При цитировании материалов ссылка на журнал обязательна.

За содержание рекламы ответственность несет рекламодатель.

Учредитель — ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России.  
Издатель — ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России.

**Адрес редакции:**

105203, г. Москва,  
ул. Нижняя Первомайская, д. 70,  
e-mail: vit-j@pirogov-center.ru.  
Тел. +7 (499) 464-03-03.

**Главный редактор:**

Карпов О.Э., академик РАН,  
д.м.н., проф.

**Почетный главный редактор:**

Стародубов В.И.,  
академик РАН, д.м.н., проф.

**Зам. главного редактора:**

Зарубина Т.В., член-корреспондент РАН,  
д.м.н., проф.

Гусев А.В., к.т.н.

**Компьютерная верстка и дизайн:**

Издательство Пироговского Центра.

**Подписные индексы:**

Каталог агентства «Роспечать» — 82615.

Отпечатано в типографии ООО «Вива-Стар»  
г. Москва, ул. Электrozаводская, д. 20  
www.vivastar.ru

Подписано в печать 09 декабря 2024 г.

Общий тираж 1000 экз.

Распространяется бесплатно.

© Издательство Пироговского Центра

## ОБЗОРЫ

*Сидоров К.В., Евдокимов А.О., Осмоловский И.С., Швырёв С.Л., Кобякова О.С.*

**ЭЛЕКТРОННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ..... 6**

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Кунгурцев О.В., Тюфиллин Д.С., Чукавина А.В., Ткачева О.Н., Труханов А.В., Кобякова О.С.*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ СЕРВИСОВ ПАЦИЕНТАМИ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА: ОСНОВНЫЕ БАРЬЕРЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ..... 20**

*Шахгельдян К.И., Костерин В.В., Рублев В.Ю., Гельцер Б.И.*

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ И ВНУТРИГОСПИТАЛЬНОЙ ЛЕТАЛЬНОСТИ У БОЛЬНЫХ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА ПОСЛЕ КОРОНАРНОГО ШУНТИРОВАНИЯ ..... 28**

*Антипов В.М., Бадарин А.А., Куркин С.А., Киселев А.Р., Храмов А.Е.*

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С КОГНИТИВНЫМИ И МОТОРНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ..... 38**

*Андрейченко А.Е., Кафтанов А.Н., Гусев А.В.*

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ МЕДИЦИНСКИХ КАРТ ..... 48**

*Путинцев А.Н., Никольский Д.А., Грицевская Д.Ю., Короленок Е.М., Семячкина А.Н., Николаева Е.А., Воинова В.Ю.*

**СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ДИАГНОСТИКЕ ДИСПЛАЗИИ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ У ДЕТЕЙ..... 60**

## ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ

*Зуков Р.А., Комиссарова В.А., Сафонцев И.П., Евминенко С.А.*

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ДИАГНОСТИКЕ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: ОПЫТ РЕГИОНА..... 72**

# CONTENTS

## REVIEWS

*Sidorov K.V., Evdokimov A.O., Osmolovsky I.S., Shvyrev S.L., Kobyakova O.S.*

**ELECTRONIC MEDICAL DOCUMENT MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION OF HEALTHCARE ..... 6**

## ORIGINAL RESEARCH

*Kungurtsev O.V., Tyufilin D.S., Chukavina A.V., Tkacheva O.N., Trukhanov A.V., Kobyakova O.S.*

**USE OF DIGITAL HEALTH SERVICES BY ELDERLY PATIENTS: MAIN BARRIERS AND SOLUTIONS ..... 20**

*Shakhgeldyan K.I., Kosterin V.V., Rublev V.Yu., Geltser B.I.*

**COMPARATIVE ANALYSIS OF DATA SYNTHESIS METHODS IN THE TASK OF PREDICTING ATRIAL FIBRILLATION AND IN-HOSPITAL MORTALITY IN PATIENTS WITH CORONARY HEART DISEASE AFTER CORONARY ARTERY BYPASS GRAFTING ..... 28**

*Antipov V.M., Badarin A.A., Kurkin S.A., Kiselev A.R., Hramov A.E.,*

**HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR REHABILITATION OF PATIENTS WITH COGNITIVE AND MOTOR DISORDERS ..... 38**

*Andreychenko A.E., Kaftanov A.N., Gusev A.V.*

**METHODOLOGY FOR ASSESSING THE QUALITY OF ELECTRONIC MEDICAL RECORDS DATA..... 48**

*Putintsev A.N., Nikolsky D.A., Gritsevskaya D.Yu.,*

*Korolenok E.M., Semyachkina A.N.,*

*Nikolaeva E.A., Voinova V.Yu.*

**MEDICAL DECISION SUPPORT SYSTEM FOR DIAGNOSING CONNECTIVE TISSUE DYSPLASIA IN CHILDREN ..... 60**

## PRACTICE EXPERIENCE

*Zukov R.A., Komissarova V.A., Safontsev I.P., Evminenko S.A.*

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN BREAST CANCER DIAGNOSIS: REGIONAL EXPERIENCE..... 72**

## MEDICAL DOCTOR AND INFORMATION TECHNOLOGIES

Registration certificate  
PI No. FS77-80906 dated April 09, 2021

Published since 2004.

This journal is included in the list of the Higher Attestation Commission, detailing leading peer-reviewed scientific journals and publications recommended for publishing the foremost scientific results of dissertations for the degree of candidate and doctor of sciences.

Readers may take part in the discussion of articles published in the journal «Medical Doctor and Information Technologies», and send topical questions to the editorial office (vit-j@pirogov-center.ru).

The journal is registered by the Ministry of the Russian Federation for Press, TV and Radio Broadcasting, and Mass Media. The trademark and name «Medical Doctor and Information Technologies» are the exclusive property of the Pirogov National Medical and Surgical Center.

The authors of the published materials are responsible for the selection and accuracy of the facts, quotes, statistical data and other information, as well as ensuring that the materials do not contain data that is not subject to open publication.

The materials are reviewed by the editorial board. Editorial opinion may not reflect the views of the author.

Reprinting of texts without the permission of the journal «Medical Doctor and Information Technologies» is prohibited. When citing materials, a reference to the journal is required.

The advertiser is responsible for the content of the advertisement.

Founder — Pirogov National Medical and Surgical Center.

Publisher — Pirogov National Medical and Surgical Center.

### Editorial office address:

105203, Moscow, st. Nizhnaya Pervomayskaya, 70, e-mail: vit-j@pirogov-center.ru. +7(499) 464-03-03.

### Chief Editor:

Karpov O.E., Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Prof.

### Honorary chief editor:

Starodubov V.I., Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Prof.

### Deputy chief editors:

Zarubina T.V., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, prof.

Gusev A.V., Ph.D.

### DTP and design:

Pirogov Center Publishing House.

### Subscription indexes:

Catalogue of the agency «Rospechat» — 82615.

Printed in the «Viva-Star» Moscow, st. Elektrozavodskaya, 20 www.vivastar.ru

Signed for printing on December 09, 2024.

Circulation 1000 copies.

Free distribution.

© Pirogov Center Publishing House

### **СИДОРОВ К.В.,**

ФГБУ ЦНИИОИЗ Минздрава России, г. Москва, Россия, e-mail: skv@nsiminzdrav.ru

### **ЕВДОКИМОВ А.О.,**

ФГБУ ЦНИИОИЗ Минздрава России, г. Москва, Россия, e-mail: evdokimov@nsiminzdrav.ru

### **ОСМОЛОВСКИЙ И.С.,**

ФГБУ ЦНИИОИЗ Минздрава России, г. Москва, Россия, e-mail: Osmolovsky\_Ivan@bk.ru

### **ШВЫРЁВ С.Л.,**

к.м.н., ФГБУ ЦНИИОИЗ Минздрава России, г. Москва, Россия, e-mail: shvyrevsl@mednet.ru

### **КОБЯКОВА О.С.,**

д.м.н., профессор, ФГБУ ЦНИИОИЗ Минздрава России, г. Москва, Россия,  
e-mail: kobyakovaos@mednet.ru

## **ЭЛЕКТРОННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ**

DOI: 10.25881/18110193\_2024\_4\_6

**Аннотация.** В статье описаны этапы развития электронного медицинского документооборота (ЭМДО) в здравоохранении Российской Федерации на основе структурированных электронных медицинских документов (СЭМД), как базы для «цифровой трансформации» отрасли, включая основные аспекты формирования технологии, методологии и нормативно-правового регулирования.

Представлены основные показатели деятельности цифрового здравоохранения по объему и видам регистрируемых электронных документов. Описаны основные перспективы развития ЭМДО, включая извлечение и использование данных СЭМД для решения задач оказания медицинской помощи и управления отраслью здравоохранения.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация, электронный медицинский документооборот, ЭМДО, структурированные электронные медицинские документы, СЭМД, медицинская информационная система, электронное здравоохранение.

**Для цитирования:** Сидоров К.В., Евдокимов А.О., Осмоловский И.С., Швырёв С.Л., Кобякова О.С. Электронный медицинский документооборот в условиях цифровой трансформации здравоохранения. Врач и информационные технологии. 2024; 4: 6-19. doi: 10.25881/18110193\_2024\_4\_6.

**SIDOROV K.V.,**

Russian Research Institute of Health, Moscow, Russia, e-mail: skv@nsiminzdrav.ru

**EVDOKIMOV A.O.,**

Russian Research Institute of Health, Moscow, Russia, e-mail: evdokimov@nsiminzdrav.ru

**OSMOLOVSKY I.S.,**

Russian Research Institute of Health, Moscow, Russia, e-mail: Osmolovsky\_Ivan@bk.ru

**SHVYREV S.L.,**

PhD, Russian Research Institute of Health, Moscow, Russia, e-mail: shvyrevsl@mednet.ru

**KOBYAKOVA O.S.,**

DSc, Professor, Russian Research Institute of Health, Moscow, Russia,  
e-mail: kobyakovaos@mednet.ru

## ELECTRONIC MEDICAL DOCUMENT MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION OF HEALTHCARE

DOI: 10.25881/18110193\_2024\_4\_6

**Abstract.** *The article describes the stages of development of electronic medical document management (EMD) in the Russian Federation healthcare based on structured electronic medical documents (SEMD), as the basis for the «digital transformation» of the industry, including key aspects of technology development, methodology and regulatory frameworks.*

*The main indicators of digital health performance in terms of volume and types of electronic documents recorded are presented. The main prospects for the development of EMD are described, including the extraction and use of SEMD data to solve the problems of medical care and management of the healthcare industry.*

**Keywords:** *digital transformation, electronic medical document management (EMD), structured electronic medical documents (SEMD), medical information system, e-health.*

**For citation:** *Sidorov K.V., Evdokimov A.O., Osmolovsky I.S., Shvyrev S.L., Kobyakova O.S. Electronic medical document management in the context of digital transformation of healthcare. Medical doctor and information technology. 2024; 4: 6-19. doi: 10.25881/18110193\_2024\_4\_6.*



Начиная с 01 января 2025 года в нашей стране начинается реализация национального проекта «Продолжительная и активная жизнь» [1], приходящий на смену национальному проекту «Здравоохранение» [2], в рамках которого в период 2020–2024 годов в формате федерального проекта [3] «Создание единого цифрового контура на основе единой государственной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ/ Единая система)» обеспечивалось развитие цифрового здравоохранения, включая формирование полноценных механизмов взаимодействия медицинских организаций на основе ЕГИСЗ.

Реализация федерального проекта позволила обеспечить преемственность в решении задач по информатизации здравоохранения, определенных Концепцией создания ЕГИСЗ (утв. приказом Минздравсоцразвития РФ от 28.04.2011 № 364) [4], в том числе в вопросах создания компонентов и сервисов Единой системы, обеспечивающих информационную поддержку деятельности участников системы здравоохранения, включая процессы оказания медицинской помощи и управления системой медицинской помощи.

Говоря о результатах информатизации здравоохранения на рубеже 2025 года, необходимо сказать о понятии «цифровой трансформации», сложившемся в рамках реализации федерального проекта, которое стало определяющим при формировании параметров целого ряда бизнес-процессов, в том числе направленных на взаимодействие медицинских информационных систем и передачу данных системы здравоохранения.

Концепция «цифровой трансформации» (и как следствие повышение эффективности функционирования отрасли) предполагает переход к управлению на основе первичных медицинских данных, что в свою очередь определило место важнейшего элемента цифрового здравоохранения — электронного медицинского документооборота (ЭМДО).

Основой ЭМДО являются структурированные электронные медицинские документы (СЭМД), объем регистрации которых в Единой системе по результатам 2023 года превысил показатель в 1 млрд и продолжает увеличиваться как в абсолютных показателях, так и в количестве видов СЭМД, охватывающих все большее пространство клинических задач, задач межведомственного

электронного взаимодействия и потребностей населения в получении медицинских документов.

В истории ЭМДО на основе СЭМД можно условно выделить три основных этапа, которые различаются между собой как по уровню технологической, методологической и нормативно-правовой обеспеченности, так и по уровню вовлеченности участников информационного взаимодействия в реализацию бизнес-процессов.

Краткое описание этих этапов позволяет понять не только сегодняшний статус и место ЭМДО в цифровом здравоохранении, но и оценить основные аспекты и перспективы развития.

На первом этапе, который можно описать термином «иррегулярный», практически совпадающим по времени с периодом реализации Концепцией создания ЕГИСЗ (2010-2020 годов), происходит формирование методических и методологических подходов к организации ЭМДО, а также складываются пространства профессиональной компетенции. В дальнейшем они смогут обеспечить практическую реализацию задач, связанных с первичными медицинскими данными на основе электронных документов. К важнейшим событиям «иррегулярного» этапа можно отнести следующие:

2009 год — запуск некоммерческого проекта (при поддержке Минздрава России, Российского государственного медицинского университета им. Н.И. Пирогова, Департамента здравоохранения города Москвы) по имплементации (изучению, разработке и адаптации) стандартов обмена электронными документами и сообщениями в сфере медицины и здравоохранения на основе «Архитектуры клинических документов» HL7.

2013 год — выделение в структуре Экспертного совета Минздрава России по вопросам использования информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) [5] специализированной рабочей группы «Унификация нормативно-справочной информации (НСИ) и структуры электронных медицинских документов», основными направлениями деятельности которой становятся: «разработка структуры документов, а также актуальных специализированных справочников в структуре НСИ, необходимых для обеспечения задач обмена электронными медицинскими данными (на всех уровнях)».

2014 год — в условиях развития ЕГИСЗ и формирования устойчивого запроса на обеспечение

отрасли полноценным и актуальным пространством НСИ по инициативе Минздрава России в структуре ФГБУ ЦНИИОИЗ создано специализированное подразделение (Регламентная служба нормативно-справочной информации Минздрава России), обеспечивающее «практическую реализацию ведения НСИ в рамках выполнения основных направлений Концепции создания ЕГИСЗ».

2015 год — утвержден и введен в действие Приказом Росстандарта (от 28.12.2015 № 2223-ст) [6] разработанный ФГБУ ЦНИИОИЗ национальный стандарт Российской Федерации «Информатизация здоровья. Прикладной протокол электронного обмена данными в организациях здравоохранения. ГОСТ Р ИСО/HL7 27931-2015» (ISO/HL7 27931:2009).

2016 год — ФГБУ ЦНИИОИЗ выполнена работа по анализу результатов первого этапа создания ЕГИСЗ (материалы Системного проекта, том 6 «Анализ результатов создания ЕГИСЗ в 2011–2015 годах») [7], в котором дана оценка и сформированы предложения по развитию компонентов и сервисов федерального сегмента ЕГИСЗ, в том числе представлено описание Реестра электронных медицинских документов — базового компонента ЭМДО, обеспечивающего возможность регистрации и хранения сведений (неизменности) об электронных медицинских документах. В данной работе представлена рекомендация «принять и юридически оформить решение о «правовом статусе» электронного медицинского документа ... определив правоприменение на период до достижения возможности 100% передачи документов». С учетом развития ЕГИСЗ и в контексте материалов 6-го тома Системного проекта, Экспертным советом по вопросам использования ИКТ были разработаны Методические рекомендации по обеспечению функциональных возможностей «Медицинских информационных систем медицинских организаций» (утв. Минздравом России 01.02.2016) [8] и «Региональных медицинских информационных систем» (утв. Минздравом России 23.06.2016) [9].

Начиная с 2017 года ведется активная работа по формированию нормативно-правовых основ деятельности в сфере цифрового здравоохранения, в ходе которой в регуляторном пространстве появляется целый ряд документов, обеспечивающих правовой статус ЭМДО и

компонентов технологической инфраструктуры, в том числе:

2017 год — Федеральным законом от 29.07.2017 № 242-ФЗ [10] в состав Федерального закона от 21.11.2011 № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» введена статья 91.1, определившая ключевые требования к ЕГИСЗ, а также закрепившая основополагающий принцип хранения в составе Единой системы «сведений о медицинской документации, по составу которых невозможно определить состояние здоровья гражданина, и сведений о медицинской организации, в которой медицинская документация создана и хранится».

2018 год — Постановлением Правительства Российской Федерации от 05.05.18 № 555 [11] закреплены и расширены подходы, сформулированные в федеральном законе, в том числе в отношении таких элементов ЕГИСЗ как Федеральный реестр электронных медицинских документов (получение, проверка, регистрация и хранение сведений о медицинской документации в форме электронных документов, которая создается и хранится медицинскими организациями) и Федеральный реестр нормативно-справочной информации (обеспечение функционирования, совместимости и способности к взаимодействию информационных систем). В том же году Минздравом России во исполнение требований Постановления Правительства принимается Приказ от 24.12.2018 № 911н «Об утверждении Требований к государственным информационным системам в сфере здравоохранения субъектов Российской Федерации, медицинским информационным системам медицинских организаций» [12].

Параллельно с развитием законодательной базы, ФГБУ ЦНИИОИЗ проводится работа по методическому обеспечению деятельности в сфере цифрового здравоохранения. В целом ряде работ (2017, 2018 и 2020 годов) [13–15] представлена информация о подходах к оценке уровня информатизации субъектов системы здравоохранения, включающих адресные показатели для «Ведения электронной медицинской карты», которые определяют возможность организации и ведения ЭМДО (такие как: «информационная поддержка диагностических исследований», «информационная поддержка лабораторных

исследований», «информационная поддержка индивидуальных программ реабилитации и реабилитации», «выдача электронных документов (в том числе: рецептов на лекарственные препараты и медицинские изделия в форме электронных документов)).

Решения, полученные в рамках формирования системы оценки уровня информатизации, были закреплены в «Методических рекомендациях по проведению оценки уровня информатизации медицинских организаций и информатизации системы здравоохранения субъекта Российской Федерации, а также оценки соответствия используемых медицинских информационных систем в медицинских организациях утвержденным требованиям Минздрава России» (утв. Минздравом России 28.11.2019) [16], а также в «Концепции разработки единой системы НСИ в сфере здравоохранения на период 2019–2024 годов» (утв. Минздравом России 16.10.2019, ФГБУ ЦНИИОИЗ 01.10.2019) [17], определившей в качестве приоритетной задачи «разработку СЭМД, доступных гражданам в электронном виде из медицинских организаций государственной и муниципальной систем здравоохранения, в том числе посредством Единого портала государственных и муниципальных услуг».

Завершая знакомство с первым этапом в истории ЭМДО на основе СЭМД, необходимо обратить внимание на утвержденный 12.12.2019 Перечень поручений Президента Российской Федерации (Пр-2549ГС) [18], который закрепил практический характер перехода к «бесбумажным» технологиям, включая такие задачи, как: «обеспечить совершенствование порядка организации документооборота в сфере охраны здоровья, в том числе при ведении медицинской документации в форме электронных документов», «обеспечить поэтапный переход на ведение медицинской документации в форме электронных документов, предусматривающий отказ от ведения указанной документации на бумажном носителе».

В том же 2019 году в рамках исполнения поручений Минздрава России на базе ФГБУ ЦНИИОИЗ начинается плановая работа по формированию федеральных решений для ЭМДО, которая вбирает в себя предыдущий опыт создания СЭМД, в том числе по структуре и составу документации, а также практических решений для целого ряда клинических документов

(«Протокол телемедицинской консультации», «Направление на медико-социальную экспертизу», «Протокол инструментального исследования»).

Начало второго («регулярного») этапа в истории ЭМДО неразрывно связано с федеральным проектом «Создание единого цифрового контура в здравоохранении на основе ЕГИСЗ», входящим в национальный проект «Здравоохранение», паспорт которого был утвержден по итогам заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам 24.12.2018 [3], направленный на «обеспечение юридически-значимого электронного документооборота» между медицинскими организациями и органами управления здравоохранением, а также при межведомственном взаимодействии, включая такие важнейшие задачи, как: «обеспечение доступности гражданам цифровых сервисов посредством внедрения электронного документооборота, в том числе телемедицинских технологий, электронной записи к врачу, электронных рецептов».

Для поддержки реализации Федерального проекта на базе ФГБУ ЦНИИОИЗ в 2019 году создан Центр компетенции цифровой трансформации. В данном Центре совместно с Регламентной службой Федерального реестра НСИ в 2020 году было локализовано специализированное подразделение по разработке СЭМД, которое «обеспечивает участников информационного взаимодействия стандартизированной и структурированной информацией в сфере здравоохранения путем формирования (и последующей модернизации) руководств по реализации СЭМД».

В рамках «регулярного» этапа следует обратить внимание на последовательную позицию Минздрава России по продвижению концепции «цифровой трансформации — управление отраслью на основе первичных медицинских данных», которая была закреплена в практических решениях Коллегий 2020–2022 годов, в том числе: 2020 год — «управление изменениями в здравоохранении на основе первичных данных с использованием информационных технологий»; 2022 год — «переход к ЭМДО с использованием СЭМД на основе единой Федеральной системы НСИ ЕГИСЗ», а также «развитие законодательной и нормативной правовой базы в части

использования электронных медицинских документов для оплаты медицинской помощи в рамках обязательного медицинского страхования».

Отдельно стоит остановиться на решениях в области нормативно-правового регулирования, которые получают выраженный практический характер и включают в себя следующие важные акты для цифрового здравоохранения:

2020 год — Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» [19].

2020 год — Приказы Минздрава России от 27.08.2020 № 906н «Об утверждении перечня, порядка ведения и использования классификаторов, справочников и иной нормативно-справочной информации в сфере здравоохранения» [20], от 07.09.2020 № 947н «Об утверждении Порядка организации системы документооборота в сфере охраны здоровья в части ведения медицинской документации в форме электронных документов» [21].

2021 год — Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.12.2021 № 3980-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации» [22].

2022 год — Поручение Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации Т.А. Голиковой от 01.03.2022 № ТГ-П12-2952 «об осуществлении мониторинга разработки новых электронных форм медицинских документов» [23].

2022 год — Постановление Правительства Российской Федерации от 09.02.2022 № 140 «О единой государственной информационной системе в сфере здравоохранения» (далее — Постановление Правительства 140) [24].

2023 год — Решение президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 15.12.2023 № 58пр [25] о согласовании «Перечня руководств по реализации СЭМД в ЕГИСЗ».

Значительное влияние на вопросы методического обеспечения и формирование решений в сфере ЭМДО оказало проведенное Счетной палатой Российской Федерации экспертно-аналитическое мероприятие по «Аналізу современного состояния информатизации здравоохранения

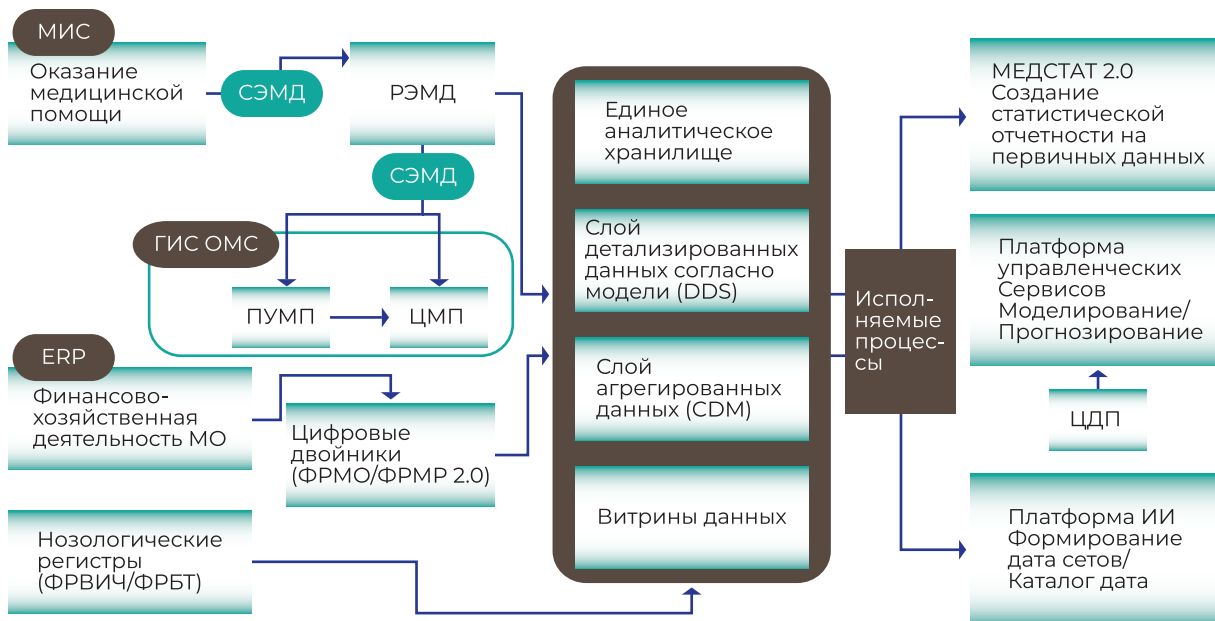
в условиях концепции создания единого цифрового контура в здравоохранении», по результатам которого в Отчете, утвержденном Коллегией Счетной палаты Российской Федерации от 31.05.2022 [26], были сформулированы:

- «требования к обмену информацией в информационных системах в сфере здравоохранения исключительно на основе разработанных и утвержденных Минздравом России стандартов информационного взаимодействия, в том числе СЭМД как залога достоверности и непротиворечивости агрегируемой информации»;
- «требования по поэтапной синхронизации сведений, агрегируемых в ЕГИСЗ, с официальной отчетностью и поэтапному формированию отчетности только на основании указанных данных».

С учетом развития нормативно-правового регулирования ФГБУ ЦНИИОИЗ в 2022 году была обеспечена разработка «Регламента ввода в эксплуатацию СЭМД для ведения ЭМДО в сфере здравоохранения» (утв. Минздравом России от 05.08.2022 № 13-7/921) [27], который был актуализирован и модернизирован в 2023 году (утв. Минздравом России от 22.08.2023 № 31-4/669) [28]. В рамках Регламента обеспечена возможность проактивного участия субъектов информационного взаимодействия в формировании документации СЭМД в соответствии с требованиями Постановления Правительства 140, а также определены основные параметры «жизненного цикла разработки СЭМД и состав артефактов, входящих в документацию».

Оценивая период 2010–2023 годов с точки зрения комплексного вклада в информатизацию здравоохранения можно констатировать, что полученные результаты включают в себя не только информационно-технологические решения, безусловно определяющие возможность построения цифрового здравоохранения, но и решения в сфере нормативно-правового регулирования и методического обеспечения, являющиеся ключевыми в вопросах организации электронного медицинского документооборота.

Начало следующего этапа («data science»), который напрямую связан с понятием «цифровой трансформации» и решением задач по извлечению и использованию данных СЭМД для построения решений в сфере здравоохранения, получило



**Рисунок 1 — Принципы новой архитектуры данных домена Здравоохранение.**

выраженный импульс развития в 2024 году, что во многом связано с утверждением новых принципов построения архитектуры данных (рисунок 1) домена Здравоохранения, представленных на Коллегии Минздрава России 24.01.2024.

Помимо этого, в рамках Коллегии были определены основные направления работ в сфере цифровизации здравоохранения, наиболее важными из которых для развития ЭМДО и использования данных СЭМД являются:

- «обеспечение интеграции ЕГИСЗ (ФРМР, ФРМО, ГИП, ФРНСИ, РЭМД) с ГИС ОМС для информационного обмена в рамках домена Здравоохранение»,
- «определение порядка финансового обеспечения медицинской помощи на основе СЭМД и перечень таких документов»,
- «создание федерального регистра лиц с вирусным гепатитом (ФРВГ) в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 11.12.2023 № 2111» [29], ведение которого в составе подсистемы специализированных регистров Единой системы определено исключительно в электронном виде.

Помимо ФРВГ в рамках реализации задач по переходу здравоохранения на электронные документы в течение 2024 года проведена разработка массива нормативно-правовых актов в

отношении целого ряда клинических документов, включающих условия ведения в электронном виде (в том числе в отношении медицинских документов, определенных Приказом Минздрава России от 15.12.2014 № 834н).

Значительный вклад в развитие ЭМДО вносит межведомственное электронное взаимодействие, которое в 2023–2024 годах существенно расширилось за счет включения новых участников — потребителей данных (документов), предоставляемых ЕГИСЗ. Их перечень будет увеличен в 2025 году, в том числе в рамках межведомственного плана взаимодействия Единой системы и ГИС, оператором которых является Социальный фонд России, в части передачи сведений, необходимых для перевода мер социальной поддержки в формат «Социального казначейства».

Использование СЭМД неразрывно связано с организацией цифрового здравоохранения в качестве элемента, обеспечивающего единство стандартов формирования и передачи электронных документов для всех субъектов системы оказания медицинской помощи, а с учетом развития межведомственного электронного взаимодействия понятие СЭМД прочно вошло в целый ряд бизнес-процессов, связанных с получением данных из ЕГИСЗ для построения решений на основе информации о здоровье граждан.

Понятие СЭМД трансформировалось по мере развития информатизации здравоохранения, обогащаясь структурными элементами, требованиями к жизненному циклу, правилами и условиями разработки и модернизации в зависимости от изменения клинических задач и аспектов нормативно-правового регулирования. При этом базовое определение остается неизменным: СЭМД — структурированный электронный медицинский документ, стандартизованный в соответствии с ГОСТ Р ИСО/HL7 27932–2015, описывающий структуру и семантику клинических документов, создаваемых в медицинских информационных системах для целей обеспечения электронного документооборота в сфере здравоохранения, к которым относятся:

- повышение эффективности функционирования отрасли за счет создания механизмов цифрового взаимодействия на основе ЕГИСЗ;
- управление здравоохранением на основе первичных данных с использованием информационных технологий — «цифровая трансформация»;
- обеспечение совершенствования порядка организации документооборота в сфере охраны здоровья и поэтапного перехода на ведение медицинской документации в форме электронных документов, предусматривающего отказ от ведения указанной документации на бумажном носителе;
- повышение качества и доступности медицинских документов для всех участников информационного взаимодействия сферы здравоохранения, включая участников межведомственного электронного взаимодействия и граждан.

Задачи, решаемые в процессе построения ЭМДО на основе СЭМД, можно разделить на 4 основные группы:

1. Построение пространства первичных структурированных медицинских данных для дальнейшего использования:
  - при формировании федеральных форм статистического наблюдения;
  - для построения аналитических решений в интересах органов управления здравоохранением (федерального и регионального уровня);
  - для ведения нозологических и специальных регистров;

- для использования при построении решений в сфере научных исследований;
- для построения решений в сфере искусственного интеллекта и систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР).

2. Обеспечение задач межведомственного ЭМДО, включая:

- обмен медико-экономическими данными с системой ОМС, в том числе для валидации счетов-реестров (в том числе, при оказании СМП, ВМП);
- обмен медико-экономическими данными с системой медико-социальной экспертизы (МСЭ);
- обмен данными с органами ЗАГС при ведении учета фактов рождения и смерти на основе соответствующих регистров;
- обмен данными с соответствующими органами, необходимыми для обеспечения интересов граждан при получении разрешений (управление ТС, владение оружием, допуск к участию в спортивных соревнованиях, на выполнение определенных видов работ и т.д.).

3. Обеспечение задач внутриведомственного ЭМДО, включая:

- обмен данными в рамках лекарственного обеспечения граждан, в том числе взаимодействие медицинских организаций с аптечными и фармацевтическими организациями (электронные рецепты) и агрегацию данных в специализированных реестрах;
- отслеживание маршрута пациента и контроль со стороны НМИЦ в части выполнения задач мониторинга и организации деятельности медицинских организаций;
- обмен клиническими документами между медицинскими организациями, в том числе поддержание телемедицинских консультаций.

4. Обеспечение потребностей граждан в цифровых медицинских документах на Портале ЕПГУ, включая:

- справки, направления и иные документы для предоставления по месту требования;
- иные документы, формируемые в рамках межведомственного и внутриведомственного электронного взаимодействия, соответствующие условиям доступности для граждан посредством ЕПГУ.

Реализация СЭМД осуществляется участниками информационного взаимодействия на

основе Документации СЭМД, сформированной организацией, уполномоченной Минздравом России на ведение единой НСИ в сфере здравоохранения (ФГБУ ЦНИИОИЗ), в соответствии Регламентом ввода в эксплуатацию СЭМД для ведения ЭМДО в сфере, размещаемой в Репозитории хранения исходных кодов Минздрава России, а также на Портале оперативного взаимодействия участников ЕГИСЗ, которая состоит из:

- Руководства по реализации, включающего:
  - Детальное описание структурных элементов СЭМД и объектов нормативно-справочной информации (в формате PDF);
  - XML-пример(ы) сформированного документа;
  - XSD-схему валидации СЭМД;
  - Образец согласованной экранной (печатной) формы для визуализации содержания СЭМД.
- Файла форматно-логического контроля СЭМД (Схематрон-файл).
- Файла XSL-преобразования для формирования согласованной экранной (печатной) формы СЭМД.

Особо следует учитывать, что Руководства по реализации СЭМД формируются с учетом следующих требований:

- формат СЭМД должен соответствовать третьему уровню формализации согласно ГОСТ Р ИСО/HL7 27932-2015;
- для кодирования информации используются объекты НСИ, размещенные на Портале НСИ Минздрава России (на Портале ФГИС ЕЧНСИ).

Разработка Документации СЭМД осуществляется уполномоченной организацией в соответствии с годовым календарным Планом, который формируется, совместно с Минздравом России, при этом учитываются нормативно-правовые акты (включая проекты), регуляторные документы Минздрава России, национальные и ведомственные проекты в сфере здравоохранения, запросы и обращения национальных медицинских исследовательских центров (НМИЦ), главных внештатных специалистов Минздрава России, профессиональных медицинских ассоциаций и иных участников домена здравоохранения в части приоритетных направлений развития и клинической практики.

СЭМД обладает набором свойств, которые связаны с обеспечением возможности

использования медицинской информации в течение длительного периода времени с целью оказания медицинской помощи пациенту, проведения научных исследований, решения аналитических задач и юридических вопросов.

#### ***Постоянство и неизменность.***

Медицинский работник, который формирует данные электронного медицинского документа, является автором СЭМД и должен подписать его своей усиленной квалифицированной электронной подписью (УКЭП). В процессе регистрации СЭМД в федеральном реестре электронных медицинских документов (РЭМД) проводится проверка подлинности УКЭП в удостоверяющем центре, проверка наличия соответствующих данных автора в Федеральном регистре медицинских работников. В случае успешной регистрации в РЭМД вместе с общими сведениями о СЭМД сохраняется вычисленная хэш-сумма, обеспечивающая контроль сохранения электронного медицинского документа в неизменном виде. Длительность хранения СЭМД ограничивается только ёмкостью хранилищ данных, которой располагает медицинская организация.

#### ***Цельность и полнота.***

Форматно-логический контроль при регистрации в РЭМД не ограничивается проверкой валидности УКЭП и полномочий медицинского работника (автора). Предусмотрено несколько уровней проверок структуры, содержания и логики построения СЭМД на соответствие требованиям технической документации. Базовая проверка по XSD-схеме обеспечивает наличие и соответствие структурных элементов (обязательных, условно обязательных, опциональных) и используемых справочников федерального реестра нормативно-справочной информации требованиям технической документации. Сложные логические правила построения СЭМД, такие как использование ограниченных наборов значений справочников ФРНСИ, корректность и непротиворечивость дат и времени документируемого события, состав участников формирования документа, проверяются посредством специального Схематрон-файла. Неполные или невалидные СЭМД отбраковываются на этапе прохождения ФЛК РЭМД.

**Связь с обстоятельствами.**

Медицинская документация должна максимально полно описывать состояние пациента как в период случая оказания медицинской помощи, так и в течение всей его жизни. Наличие в СЭМД уникальных идентификаторов пациента, медицинской карты, медицинской организации, оказывающей медицинскую помощь, ссылок на связанные медицинские документы и цифровые медицинские изображения обеспечивает доступ ко всему спектру электронной информации о состоянии здоровья граждан. Развёрнутая ролевая модель даёт возможность детального описания участников документируемого события (врачей-консультантов, среднего медицинского персонала, родственников пациента, представителей страховых медицинских организаций и т.д.).

**Маршрутизация.**

СЭМД после формирования в медицинской информационной системе и успешного завершения регистрации в РЭМД помещается в архив медицинской организации, ответственной за его хранение. При наличии данных о СНИЛС пациента в СЭМД документ может быть предоставлен в личный кабинет на Едином портале государственных услуг, а в случае необходимости он может передаваться в другую медицинскую организацию, в которой пациент получает медицинскую помощь. Универсальный формат СЭМД и стандартное XSL преобразование обеспечивает возможность отображения содержания медицинского документа на любом компьютере в том же виде, в котором СЭМД был подписан УКЭП.

**Возможность компьютерной обработки.**

СЭМД содержит большое количество закодированной информации, предназначенной для последующей компьютерной обработки, на основе которой может быть построена статистическая отчётность, научная аналитика, системы поддержки принятия врачебных решений и искусственного интеллекта. Использование в СЭМД единых федеральных справочников, размещённых в Федеральном реестре нормативно-справочной информации Минздрава России, обеспечивает семантическую интероперабельность медицинских информационных систем, которые участвуют в обмене данными в рамках Единой системы.

**Возможность прочтения человеком.**

Несмотря на то, что СЭМД, в первую очередь, ориентирован на компьютерные технологии обработки и представления, содержание документа при необходимости может быть прочитано медицинским работником на распечатке XML-файла.

Существенные усилия в области развития технологии, методологии и нормативного регулирования, приложенные Минздравом России совместно с профессиональным сообществом, вывели ЭМДО на основе СЭМД на качественно новый уровень количества регистраций и видов электронных документов при постоянном росте качества передаваемой информации.

По состоянию на 01.10.2024 года в Федеральном реестре электронных медицинских документов Единой системы зарегистрировано более 2,255 млрд. СЭМД, которые представлены 111 видами. Все последние годы сохраняется выраженная положительная динамика (Таблица 1) количества ежегодных регистраций, что, помимо нарастания видов СЭМД, обеспечивается повышением вовлеченности лечебных учреждений всех уровней, включая частные медицинские организации (в особенности в показателях 2024 года). С учетом положительной динамики текущего года, совокупный прогнозируемый объем регистрации электронных документов в РЭМД до конца 2024 года приблизится к 3 млрд., содержащих от 150 до 200 млрд. единиц информации (записей).

Помимо абсолютного количества регистраций в РЭМД, важнейшей характеристикой ЭМДО является количественное распределение СЭМД по видам, что позволяет сделать вывод о возможности построения решений, соответствующих целям и задачам «цифровой трансформации». По результатам анализа данных за 2023 год и 3 кварталов 2024 года, основной массив зарегистрированных документов (>95%) формируется за счет 20 видов СЭМД, подавляющее большинство которых относится к группе «клинических» (т.е. непосредственно относящихся к процессу оказания медицинской помощи). Именно такое распределение свидетельствует о возможности извлечения данных, необходимых для формирования управленческой аналитики (в том числе на уровне НМИЦ по профилям оказания медицинской помощи) и нозологических регистров.



**Таблица 1 — Количественные характеристики регистрации СЭМД в РЭМД в период 2019–2024 гг.**

Год	СЭМД	МО	Виды СЭМД
2019	5 675	739	6
2020	930 390	2 523	12
2021	21 225 362	4 622	35
2022	210 623 367	5 993	57
2023	910 035 232	7 152	88
1-3 кв. 2024	1 112 061 506	9 893	111
Всего	2 254 881 532		

### **Извлечение данных СЭМД**

Количественные и качественные показатели ЭМДО, вовлеченность и охват медицинских организаций, а также высокий уровень готовности отрасли к использованию технологий работы с данными, выводит на первый план задачу извлечения и подготовки данных для их дальнейшего использования. Помимо технологической возможности данная задача предполагает наличие высокоуровневого методического и методологического сопровождения с участием национальных медицинских исследовательских центров, профессиональных экспертных сообществ и ведущих клинических специалистов.

Одним из ключевых моментов в такой работе становится целевой (адресный) запрос на извлечение данных, основанный на компетентной, обоснованной и согласованной позиции участников информационного взаимодействия в сфере здравоохранения, учитывающей не только клинические, но и административные, технологические и иные аспекты реализации.

Этапы бизнес-процесса при формировании решения по целевому запросу являются универсальными для всего спектра задач, связанных с использованием данных СЭМД (аналитические панели, формы статистического наблюдения, нозологические регистры и т.д.), и включают в себя следующие элементы:

1. Верхнеуровневая разметка: определение источников информации (набора из видов СЭМД), которые соответствуют параметрам и характеру собираемых данных, а также могут обеспечить необходимый «поток» данных с учетом возможной доработки и расширения элементного состава СЭМД. Особое внимание в рамках верхнеуровневой разметки занимает формализация и структуризация требований

по составу данных, а также установление соответствия данных СЭМД при их формировании целевому запросу (например, при формировании нозологических регистров формальное соответствие данных может быть зафиксировано для целого ряда видов СЭМД, при этом «триггерные» события, определяющие внесение информации в реестр, строго ограничивают количество видов СЭМД, которые могут быть использованы). В ходе верхнеуровневой разметки может быть установлено отсутствие соответствующего вида СЭМД, разработка которого, в таком случае, должна быть предусмотрена в процессе реализации задачи (например, для Федерального реестра лиц, больных туберкулезом необходимо разработать СЭМД (089/у-туб) «Извещение о больном с впервые в жизни установленным диагнозом активного туберкулеза, с рецидивом туберкулеза»).

2. Углубленная разметка: обеспечение «полного покрытия» целевого запроса по составу данных на основе поэлементного сопоставления с данными СЭМД, которые определены в качестве источников информации. В случае недостаточности данных возникает необходимость разработать редакции СЭМД, содержащие обновленный состав сведений по итогам проведенного сопоставления, а также, в случае необходимости, выполнить разработку (модернизацию/ актуализацию) справочников, используемых для формирования кодированной информации.
3. Построение программного решения по извлечению и хранению данных на основе синтетических СЭМД (прототипирование): формирование набора запросов для навигации и поиска информации в XML-документах (например, XPath — запросов (XML Path

Language)) с последующим извлечением и/или преобразованием необходимых элементов (в том числе для выполнения деперсонификации) и формирование на их основе переподготовленного (размеченного) набора для дальнейшего использования.

4. Внедрение программно-аппаратного решения для «пилотных» участников информационного взаимодействия: реализация ранее сформированного решения (набор запросов, деперсонификация, предобработка, массив размеченных данных) на «реальных» СЭМД с последующей агрегацией данных в формате целевого запроса (аналитическая панель, нозологический регистр, форма статистического наблюдения и т.д.).
5. Промышленное внедрение: расширение состава участников информационного взаимодействия и повышение покрытия в части передачи соответствующих видов СЭМД до уровня, отвечающего параметрам и задачам целевого запроса (например, формирование формы статистического наблюдения №13 «Сведения о беременности с абортивным исходом» на основе СЭМД «Статистическая карта выбывшего из стационара (О66/у)» — 100% медицинских организаций, формирующих форму / 100% первичных медицинских документов в форме СЭМД).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог обзора, посвященного электронному медицинскому документообороту на

основе СЭМД, можно констатировать достижение «пороговых уровней» развития компонентов (информационно-технологическое и методическое обеспечение, нормативно-правовое регулирование, вовлеченность участников информационного взаимодействия, наличие состоятельных «локальных» решений, проактивная позиция регуляторных органов управления), предваряющих переход к цифровой трансформации, и, что вполне возможно, лавинообразному появлению множества решений на основе первичных медицинских данных от различных участников сферы здравоохранения в самом широком диапазоне: от «цифровой статистики» и формирования форм статистического наблюдения до научных работ, направленных на глобальные популяционные и клинические исследования, от построения нозологических регистров до on-line аналитики в интересах всех уровней управления (от медицинской организации и НМИЦ до социального блока Правительства Российской Федерации).

Огромные возможности построения аналитики на основе первичных достоверных медицинских данных позволяют обеспечить эффективный и естественный переход «к предиктивной и профилактической медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения, в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов и использования генетических данных и технологий», обеспеченных «функционализацией отечественных систем хранения уникальной информации и данных».

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Поручение Правительства Российской Федерации от 21.07.2024 по итогам стратегической сессии по национальному проекту «Продолжительная и активная жизнь». [Poruchenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 21.07.2024 po itogam strategicheskoy sessii po nacional'nomu proektu «Prodolzhitel'naya i aktivnaya zhizn'». (In Russ.)]
2. Паспорт национального проекта «Здравоохранение» (утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам 24.12.2018). [Pasport nacional'nogo proekta «Zdravoohranenie» (utverzhdn prezidiumom Soveta pri Prezidente Rossijskoj Federacii po strategicheskomu razvitiyu i nacional'nym proektam 24.12.2018). (In Russ.)]
3. Паспорт федерального проекта «Создание единого цифрового контура в здравоохранении на основе единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ)» (Приложение № 3 к протоколу заседания проектного комитета по национальному проекту «Здравоохранение» от 14.12.2018). [Pasport federal'nogo proekta «Sozdanie edinogo cifrovogo kontura v zdravoohranenii na osnove edinoj gosudarstvennoj informacionnoj sistemy v sfere zdravoohraneniya (EGISZ)» (Prilozhenie № 3 k protokolu zasedaniya proektnogo komiteta po nacional'nomu proektu «Zdravoohranenie» ot 14.12.2018). (In Russ.)]
4. Приказ Минздрава России от 28.04.2011 № 364 (ред. от 12.04.2012) «Об утверждении Концепции создания единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения». [Prikaz Minzdrava Rossii ot 28.04.2011 № 364 (red. ot 12.04.2012) «Ob utverzhdanii Konceptii sozdaniya edinoj gosudarstvennoj informacionnoj sistemy v sfere zdravoohraneniya». (In Russ.)]

5. Приказ Минздрава России от 29.12.2012 №1638 «Об Экспертном совете Министерства здравоохранения Российской Федерации по вопросам использования информационно-коммуникационных технологий в системе здравоохранения». [Приказ Minzdrava Rossii ot 29.12.2012 №1638 «Ob Ekspertnom soвете Ministerstva zdravooхранeniya Rossijskoj Federacii po voprosam ispol'zovaniya informacionno-kommunikacionnyh tekhnologij v sisteme zdravooхранeniya». (In Russ.)]
6. Приказ Росстандарта от 28.12.2015 № 2223-ст «Об утверждении национального стандарта Российской Федерации «Информатизация здоровья. Прикладной протокол электронного обмена данными в организациях здравоохранения. ГОСТ Р ИСО/HL7 27931-2015» (ISO/HL7 27931:2009). [Приказ Rosstandarta ot 28.12.2015 № 2223-st «Ob utverzhdenii nacional'nogo standarta Rossijskoj Federacii «Informatizaciya zdorov'ya. Prikladnoj protokol elektronnoogo obmena dannymi v organizacijah zdravooхранeniya. GOST R ISO/HL7 27931-2015» (ISO/HL7 27931:2009). (In Russ.)]
7. Системный проект ЕГИСЗ. Том 6 «Анализ результатов первого этапа создания единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения министерства здравоохранения российской федерации в 2011 — 2015 годах» (portal.egisz.rosminzdrav.ru/materials/). [Sistemnyj proekt EGISZ. Tom 6 «Analiz rezul'tatov pervogo etapa sozdaniya edinoj gosudarstvennoj informacionnoj sistemy v sfere zdravooхранeniya ministerstva zdravooхранeniya rossijskoj federacii v 2011 — 2015 godah» (portal.egisz.rosminzdrav.ru/materials/). (In Russ.)]
8. Методические рекомендации по обеспечению функциональных возможностей медицинских информационных систем медицинских организаций (МИС МО) (утв. Минздравом России 01.02.2016). [Metodicheskie rekomendacii po obespecheniyu funkcional'nyh vozmozhnostej medicinskih informacionnyh sistem medicinskih organizacij (MIS MO) (utv. Minzdravom Rossii 01.02.2016). (In Russ.)]
9. Методические рекомендации по обеспечению функциональных возможностей региональных медицинских информационных систем (РМИС) (утв. Минздравом России 23.06.2016). [Metodicheskie rekomendacii po obespecheniyu funkcional'nyh vozmozhnostej regional'nyh medicinskih informacionnyh sistem (RMIS) (utv. Minzdravom Rossii 23.06.2016). (In Russ.)]
10. Федеральный закон от 29.07.2017 № 242-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья». [Federal'nyj zakon ot 29.07.2017 № 242-FZ «O vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii po voprosam primeneniya informacionnyh tekhnologij v sfere ohrany zdorov'ya». (In Russ.)]
11. Постановление Правительства Российской Федерации от 05.05.18 № 555 «О единой государственной информационной системе в сфере здравоохранения». [Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 05.05.18 № 555 «O edinoj gosudarstvennoj informacionnoj sisteme v sfere zdravooхранeniya». (In Russ.)]
12. Приказ Минздрава России от 24.12.2018 № 911н «Об утверждении Требований к государственным информационным системам в сфере здравоохранения субъектов Российской Федерации, медицинским информационным системам медицинских организаций». [Приказ Minzdrava Rossii ot 24.12.2018 № 911n «Ob utverzhdenii Trebovanij k gosudarstvennym informacionnym sistemam v sfere zdravooхранeniya sub"ektov Rossijskoj Federacii, medicinskim informacionnym sistemam medicinskih organizacij». (In Russ.)]
13. Стародубов В.И., Сидоров К.В., Зарубина Т.В., Швырёв С.Л., Королева Ю.И., Раузина С.Е. Методика оценки уровня информатизации медицинской организации // Менеджер здравоохранения. — 2017. — №8. — С.39-52. [Starodubov VI, Sidorov KV, Zarubina TV, SHvyryov SL, Koroleva YU, Rauzina SE. Metodika ocenki urovnya informatizacii medicinskoj organizacii. Menedzher zdravooхранeniya. 2017; 8: 39-52. (In Russ.)]
14. Стародубов В.И., Сидоров К.В., Зарубина Т.В., Алепо А.А. Формирование интегральных показателей оценки уровня информатизации медицинской организации // Врач и информационные технологии. — 2018. — №1. — С.6-24. [Starodubov VI, Sidorov KV, Zarubina TV, Alepko AA. Formirovanie integral'nyh pokazatelej ocenki urovnya informatizacii medicinskoj organizacii. Vrach i informacionnye tekhnologii. 2018; 1: 6-24. (In Russ.)]
15. Стародубов В.И., Сидоров К.В., Зарубина Т.В. Оценка уровня информатизации медицинских организаций на этапе создания единого цифрового контура в здравоохранении // Вестник Росздравнадзора. — 2020. — №3. — С.12-27. [Starodubov VI, Sidorov KV, Zarubina TV. Ocenka urovnya informatizacii medicinskih organizacij na etape sozdaniya edinogo cifrovogo kontura v zdravooхранenii // Vestnik Roszdravnadzora. 2020; 3: 12-27. (In Russ.)]
16. Методические рекомендации по проведению оценки уровня информатизации медицинских организаций и информатизации системы здравоохранения субъекта Российской Федерации, а также оценки соответствия используемых медицинскими информационными систем в медицинских организациях утвержденным требованиям Минздрава России (утв. Минздравом России 28.11.2019). [Metodicheskie rekomendacii po provedeniyu ocenki urovnya informatizacii medicinskih organizacij i informatizacii sistemy zdravooхранeniya sub"ekta Rossijskoj Federacii, a takzhe ocenki sootvetstviya ispol'zuemyh medicinskih informacionnyh sistem v medicinskih organizacijah utverzhdenym trebovaniyam Minzdrava Rossii (utv. Minzdravom Rossii 28.11.2019). (In Russ.)]

17. Концепции разработки единой системы нормативно-справочной информации в сфере здравоохранения на период 2019–2024 годов (утв. Минздравом России 16.10.2019, ФГБУ ЦНИИОИЗ 01.10.2019). [Konceptii razrabotki edinoj sistemy normativno-spravochnoj informacii v sfere zdavoohraneniya na period 2019–2024 godov (utv. Minzdravom Rossii 16.10.2019, FGBU CNIIOIZ 01.10.2019). (In Russ.)]
18. Перечень поручений Президента Российской Федерации по итогам заседания Государственного совета Российской Федерации от 31.10.2019г.» (Пр-2549ГС от 12.12. 2019). [Perechen' poruchenij Prezidenta Rossijskoj Federacii po itogam zasedaniya Gosudarstvennogo soveta Rossijskoj Federacii ot 31.10.2019g.» (Pr-2549GS ot 12.12. 2019). (In Russ.)]
19. Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 №474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года». [Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 21.07.2020 №474 «O nacional'nyh celyah razvitiya Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda». (In Russ.)]
20. Приказ Минздрава России от 27.08.2020 № 906н «Об утверждении перечня, порядка ведения и использования классификаторов, справочников и иной нормативно-справочной информации в сфере здравоохранения». [Prikaz Minzdrava Rossii ot 27.08.2020 № 906n «Ob utverzhdenii perechnya, poryadka vedeniya i ispol'zovaniya klassifikatorov, spravochnikov i inoj normativno-spravochnoj informacii v sfere zdavoohraneniya». (In Russ.)]
21. Приказ Минздрава России 07.09.2020 № 947н «Об утверждении Порядка организации системы документооборота в сфере охраны здоровья в части ведения медицинской документации в форме электронных документов». [Prikaz Minzdrava Rossii 07.09.2020 № 947n «Ob utverzhdenii Poryadka organizacii sistemy dokumentooborota v sfere ohrany zdorov'ya v chasti vedeniya medicinskoj dokumentacii v forme elektronnyh dokumentov». (In Russ.)]
22. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.12.2021 № 3980-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации». [Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 29.12.2021 № 3980-r «Ob utverzhdenii strategicheskogo napravleniya v oblasti cifrovoj transformacii». (In Russ.)]
23. Поручение Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации Т.А. Голиковой от 01.03.2022 № ТГ-П12-2952 «об осуществлении мониторинга разработки новых электронных форм медицинских документов». [Poruchenie Zamestitelya Predsedatelya Pravitel'stva Rossijskoj Federacii T.A. Golikovoju ot 01.03.2022 № TG-P12-2952 «ob osushchestvlenii monitoringa razrabotki novyh elektronnyh form medicinskih dokumentov». (In Russ.)]
24. Постановление Правительства Российской Федерации от 09.02.2022 № 140 «О единой государственной информационной системе в сфере здравоохранения». [Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 09.02.2022 № 140 «O edinoj gosudarstvennoj informacionnoj sisteme v sfere zdavoohraneniya». (In Russ.)]
25. Решение президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности (Протокол от 15.12.2023 № 58пр). [Reshenie prezidiuma Pravitel'stvennoj komissii po cifrovomu razvitiyu, ispol'zovaniyu informacionnyh tekhnologij dlya uluchsheniya kachestva zhizni i uslovij vedeniya predprinimatel'skoj deyatelnosti (Protokol ot 15.12.2023 № 58pr). (In Russ.)]
26. Отчет Счетной палаты Российской Федерации о результатах экспертно-аналитического мероприятия по «Анализу современного состояния информатизации здравоохранения в условиях концепции создания единого цифрового контура в здравоохранении» (утв. Коллегией Счетной палаты Российской Федерации 31.05.2022). [Otchet Schetnoj palaty Rossijskoj Federacii o rezul'tatah ekspertno-analiticheskoe meropriyatie po «Analizu sovremennogo sostoyaniya informatizacii zdavoohraneniya v usloviyah koncepcii sozdaniya edinogo cifrovogo kontura v zdavoohranenii» (utv. Kollegiej Schetnoj palaty Rossijskoj Federacii 31.05.2022). (In Russ.)]
27. Регламент ввода в эксплуатацию СЭМД для ведения ЭМДО в сфере здравоохранения (редакция 1) (утв. Минздравом России от 05.08.2022 №13-7/921). [Reglament vvoda v ekspluataciju SEMD dlya vedeniya EMDO v sfere zdavoohraneniya (redakcija 1) (utv. Minzdravom Rossii ot 05.08.2022 №13-7/921). (In Russ.)]
28. Регламент ввода в эксплуатацию СЭМД для ведения ЭМДО в сфере здравоохранения (редакция 2) (утв. Минздравом России от 22.08.2023 №31-4/669). [Reglament vvoda v ekspluataciju SEMD dlya vedeniya EMDO v sfere zdavoohraneniya (redakcija 2) (utv. Minzdravom Rossii ot 22.08.2023 №31-4/669). (In Russ.)]
29. Постановление Правительства Российской Федерации от 11.12.2023 № 2111 «Об утверждении Правил ведения Федерального регистра лиц с вирусными гепатитами и о внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 09.02.2022 № 140». [Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 11.12.2023 № 2111 «Ob utverzhdenii Pravil vedeniya Federal'nogo registra lic s virusnymi gepatitami i o vnesenii izmenenij v postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 09.02.2022 № 140». (In Russ.)]
30. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (утв. Указом Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145). [Strategiya nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii (utv. Ukazom Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 28.02.2024 № 145) (In Russ.)]

**КУНГУРЦЕВ О.В.,**

ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, г. Москва, Россия; e-mail: kungurtsebov@mednet.ru

**ТЮФИЛИН Д.С.,**

ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, г. Москва, Россия; e-mail: tyufilinds@mednet.ru

**ЧУКАВИНА А.В.,**

ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, г. Москва, Россия; e-mail: chukavinaav@mednet.ru

**ТКАЧЕВА О.Н.,**

д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН, ОСП - РГНКЦ ФГАОУ  
ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, г. Москва, Россия;  
e-mail: tkacheva@rgnkc.ru

**ТРУХАНОВ А.В.,**

ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, г. Москва, Россия;  
e-mail: truhanov\_av@rgnkc.ru

**КОБЯКОВА О.С.**

д.м.н., профессор, ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, г. Москва, Россия;  
e-mail: kobyakovaos@mednet.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ СЕРВИСОВ ПАЦИЕНТАМИ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА: ОСНОВНЫЕ БАРЬЕРЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

DOI: 10.25881/18110193\_2024\_4\_20

**Аннотация.** Внедрение цифровых медицинских сервисов, активно проводимое в последние годы в Российской Федерации, направлено на повышение доступности медицинской помощи и удобства взаимодействия пациентов с системой здравоохранения. Однако возникающие в силу возрастных особенностей барьеры на пути использования предлагаемых сервисов людьми пожилого возраста могут отчасти нивелировать этот потенциал. В данной работе изучены наиболее актуальные проблемы при использовании цифровых медицинских сервисов пациентами старшего трудоспособного возраста и осуществлен поиск решений по их устранению.

**Ключевые слова:** цифровые медицинские сервисы, лица старше трудоспособного возраста, электронные сервисы, цифровые барьеры, пожилые.

**Для цитирования:** Кунгурцев О.В., Тюфилин Д.С., Чукавина А.В., Труханов А.В., Ткачева О.Н. Использование цифровых медицинских сервисов пациентами пожилого возраста: основные барьеры и пути. Врач и информационные технологии. 2024; 4: 20-27. doi: 10.25881/18110193\_2024\_4\_20.

**KUNGURTSEV O.V.,**

Russian Research Institute of Health, Moscow, Russia; e-mail: kungurtsebov@mednet.ru

**TYUFILIN D.S.,**

Russian Research Institute of Health, Moscow, Russia; e-mail: tyufilinds@mednet.ru

**CHUKAVINA A.V.,**

Russian Research Institute of Health, Moscow, Russia; e-mail: chukavinaav@mednet.ru

**TKACHEVA O.N.,**

MD, PhD, professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Russian Gerontology Research and Clinical Centre, Pirogov National Research Medical University, Moscow, Russia; e-mail: tkacheva@rgnkc.ru

**TRUKHANOV A.V.,**

National Medical Research Centre of Gerontology, Pirogov National Research Medical University, Russian Gerontology Research and Clinical Centre, Moscow, Russia; e-mail: truhanov\_av@rgnkc.ru

**KOBYAKOVA O.S.,**

D.Sc. (Medicine), Professor, Russian Research Institute of Health, Moscow, Russia; e-mail: kobyakovaos@mednet.ru

## USE OF DIGITAL HEALTH SERVICES BY ELDERLY PATIENTS: MAIN BARRIERS AND SOLUTIONS

DOI: 10.25881/18110193\_2024\_4\_20

**Abstract.** *The introduction of digital medical services, which has been actively pursued in recent years in the Russian Federation, is aimed at improving accessibility of medical care and the convenience of patient interaction with the health care system. However, age-related barriers to the use of these services by the elderly can partially offset this potential. In this regard, this paper studies the most pressing problems in the use of digital medical services by patients of older working age and searches for solutions to eliminate them.*

**Keywords:** *Digital health services, over working age, e-services, digital services, digital barriers, elderly.*

**For citation:** *Kungurtsev O.V., Tyufilin D.S., Chukavina A.V., Tkacheva O.N., Trukhanov A.V., Kobyakova O.S. Use of digital health services by elderly patients: main barriers and solutions. Medical doctor and information technology. 2024; 4: 20-27. doi: 10.25881/18110193\_2024\_4\_20.*

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема старения населения является актуальной для многих стран мира: по данным Организации Объединенных Наций, к 2050 году около 16% жителей планеты преодолеет возрастную планку в 65 лет [1]. Формирующаяся тенденция по увеличению доли пожилых людей в структуре населения вызывает рост нагрузки на систему здравоохранения, так как снижение потенциала здоровья является возрастной особенностью данной когорты [2]. Одновременно с этим в отрасли здравоохранения активно развивается цифровизация как медицинских, так и организационных процессов, обусловленная необходимостью трансформации взаимодействия с пациентом в силу растущих потребностей граждан в медицинской помощи (МП) и ограниченности ресурсов отрасли в текущих реалиях [3]. Целью этих процессов являются повышение доступности МП, эффективности лечения и качества медицинских услуг [4].

На сегодняшний день активно внедряется онлайн-запись на прием к врачу, электронная медицинская карта, телемедицинские консультации, мобильные приложения для здоровья, но, несмотря на растущий перечень современных способов коммуникаций, представители старшего поколения, согласно данным ряда опросов, все еще отдают предпочтение традиционным каналам получения информации и услуг: по телефону и при личном визите, что зачастую вызвано низким уровнем цифровой грамотности и доступа к электронным средствам, наличием когнитивных нарушений, трудностями психологического характера [5, 6]. Это приводит к возникновению цифровых барьеров у пожилых пациентов, которые находят свое выражение в невозможности и недоступности использования ими цифровых технологий.

Для детального изучения наиболее актуальных проблем использования пожилыми пациентами внедряемых цифровых сервисов в здравоохранение Российской Федерации, предикторов их возникновения и разработки перечня мероприятий, направленных на их нивелирование, проведено настоящее исследование.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Социологическое исследование проведено путем прямого анкетирования пациентов

госпиталей ветеранов войн. Критериями включения в исследование являлись возраст — мужчины старше 60 лет и женщины старше 57 лет; гражданство Российской Федерации; наличие согласия на участие в исследовании. В соответствии с общероссийским распределением городского и сельского населения старше трудоспособного возраста (74 и 26%, соответственно), в проведенном нами анализе применен коэффициент 1,44 к ответам сельских жителей и 0,9 к ответам городских жителей. Опрос проводился сотрудниками 16 медицинских организаций, для которых разработана подробная инструкция (речевой модуль). Анкета содержала 89 вопросов, разделенных на три основных блока: паспортную часть, блок вопросов об опыте взаимодействия респондентов с системой здравоохранения, блок вопросов о различного рода барьерах при получении МП.

Респондентам предлагалось сообщить о наличии проблем при использовании цифровых медицинских сервисов в четырех вариантах: «никогда», «редко», «часто» или «очень часто». Статистический анализ полученных ответов проводился путем присвоения значений: «никогда» — 1, «редко» — 2, «часто» — 3, «очень часто» — 4. На вопрос о наличии в личном пользовании техники, необходимой для получения медицинских услуг в электронном виде (компьютер, смартфон, планшет), предлагались два варианта ответа: «да» — 1, «нет» — 4. Далее рассчитывался средний балл, отражающий степень выраженности барьера.

С учетом вариативности барьеров и выборки исследования дальнейший анализ факторов наличия барьеров был проведен на основании риска попадания респондентов в верхний квартиль по среднему значению баллов.

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием пакета программ Statistica for Windows version 10.0, Stata и R-studio. В ходе исследования применялся логистический регрессионный анализ, критерий Краскела-Уоллиса.

Исследование одобрено этическим комитетом по экспертизе социологических исследований в сфере общественного здравоохранения при ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России (Заключение № 7/2023 от 11.09.2023).

**РЕЗУЛЬТАТЫ**

В ходе исследования опрошено 3942 респондента (2486 женщин и 1456 мужчин) старше трудоспособного возраста из 42 субъектов Российской

Федерации, в том числе городских жителей — 82,0% (n = 3231), сельских — 18,0% (n = 711). Средний возраст участников исследования составил 72,25 года (71,98–72,51, Таблица 1).

**Таблица 1 — Социально-демографическая характеристика респондентов**

Параметр	n	%
<b>Пол</b>		
Мужской	1 456	36,9
Женский	2 486	63,1
<b>Возраст</b>		
55-59 лет	122	3,1
60-64 года	685	17,4
65-69 лет	833	21,1
70-74 года	813	20,6
75-79 лет	643	16,3
80-84 года	473	12,0
85-90 лет	292	7,4
старше 91 года	81	2,1
<b>Тип населенного пункта</b>		
Городской (город или поселок городского типа)	3231	82,0
Сельский (остальные)	711	18,0
<b>Уровень образования</b>		
Высшее	1 300	33,0
Среднее	2 498	63,4
Начальное	144	3,6
<b>Совместное проживание</b>		
С супругом/супругой	1803	45,8
С детьми или родственниками	845	21,4
Одинокие	1294	32,8
<b>Наличие инвалидности</b>		
Да	965	24,5
Нет	2977	75,5
<b>Наличие хронических неинфекционных заболеваний</b>		
Да	3264	82,8
Нет	678	17,2
<b>Наличие физиологических ограничений</b>		
Проблемы со зрением	1326	25,3
Трудно ходить, подниматься по лестницам, стоять	771	14,7
Проблемы со слухом	712	13,6
Ограничена способность запоминать информацию	593	11,3
Ничего из вышеперечисленного	1840	35,1
<b>Социальная активность</b>		
Забота о внуках	1626	38,4
Работали	1005	23,7
Участвовали в общественно-политической жизни (члены избирательной комиссии, совета ветеранов и т.п.),	257	6,1
Участвовали в добровольческой (волонтерской) деятельности	128	3,0
Ничего из вышеперечисленного	1222	28,8
<b>Частота занятий физической активностью</b>		
Ежедневно	950	24,1
Несколько раз в неделю	945	24,0
Раз в неделю	494	12,5
Пару раз в месяц	273	6,9
Раз в месяц	96	2,4
Менее одного раза в месяц	156	4,0
Не занимались	1028	26,1



**Таблица 2 — Частота встречаемости цифровых барьеров, %**

№ п/п	Утверждения	Распространённость ответа, %*
1	У Вас имеется в личном пользовании техника, необходимая для получения медицинских услуг в электронном виде (компьютер, смартфон, планшет)? **	46,0
2	Вы испытываете трудности при общении с чат-ботом (роботом) во время записи на прием или при обращении по телефону в больницу?	38,0
3	Вы испытываете трудности при записи на прием через интернет?	28,1
4	Вам трудно найти необходимую информацию на сайте больницы?	24,0
5	Вы нуждаетесь в помощи при получении медицинских услуг в электронном виде?	22,2
6	Вам помогают в получении медицинских услуг в электронном виде близкие люди? ***	74,5
7	Вы сталкиваетесь с недостаточной, устаревшей или неактуальной информацией на сайте больницы?	21,3
8	Сервис записи на прием к врачу в интернете Вам непонятен или недоступен из-за мелкого шрифта?	18,0
9	Вы испытываете страх и неуверенность при записи на прием к врачу через интернет?	13,2

Примечание: \* — учитывались ответы: часто, очень часто; \*\* — учитывались ответы: нет; \*\*\* — учитывались ответы «никогда» или «редко» в случае положительного ответа на вопрос: «Вы нуждаетесь в помощи при получении медицинских услуг в электронном виде?».

### БАРЬЕРЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИФРОВЫХ СЕРВИСОВ

По данным исследования наиболее распространённым барьером (46%) при получении медицинских услуг в электронном виде стало отсутствие у пожилых людей в личном пользовании необходимой техники (компьютер, смартфон, планшет). В посторонней помощи при получении медицинских услуг в электронном виде нуждались 22,2% респондентов, четверть из них (25,5%) получили ее от близких людей (родственники, супруг(а), совместно проживающие лица).

Следующей по распространённости проблемой стали трудности при самостоятельной записи на прием к врачу через интернет. Среди всех возможных способов записи на прием к врачу данным видом записи воспользовались только 21,6% (n = 850) опрошенных. Из них чуть менее трети (28,1%) сообщили о возникновении тех или иных сложностей. Наиболее затруднительным (38,0%) стало общение с чат-ботом (роботом), 18% сообщили, что не смогли записаться на прием к врачу из-за мелкого шрифта на сайте или в приложении. Тем не менее доля тех, кто испытывал страх и неуверенность при записи на прием через интернет, была относительно невелика (13,2%).

Отдельный блок вопросов был посвящен доступности информации для пожилых людей на

сайтах медицинских организаций. Около четверти участников исследования (24,0%; n = 430) столкнулись с трудностями при поиске необходимой информации. О наличии на сайтах медицинских организаций недостаточной, устаревшей или неактуальной информации сообщили 21,3% (n = 381) респондентов (Таблица 2).

Среди участников исследования были не готовы к более активному использованию цифровых медицинских сервисов при получении МП 64,2% (n = 2 529) и примерно столько же — 65,1% (n = 2566) респондентов не выразили желания обучаться навыкам их использования.

### ФАКТОРЫ РИСКА НАЛИЧИЯ ЦИФРОВЫХ БАРЬЕРОВ

При сравнении групп респондентов по различным характеристикам выявлена более высокая выраженность барьеров доступности у следующих граждан:

- проживали одни или с детьми и другими родственниками, но не с супругами (медиана 2,5 против 2; p<0,001);
- не имели социальной активности (медиана 2,5 против 2; p<0,001);
- имели хронические заболевания (медиана 2,5 против 1,9; p<0,001);
- имели установленную инвалидность (медиана 2,5 против 2, p<0,001);

**Таблица 3 — Факторы риска попадания в верхний квартиль по уровню выраженности цифровых барьеров**

Фактор	ОШ
Хорошее состояние здоровья (субъективная оценка)	0,371
Проживание с детьми или другими родственниками	0,685
Удовлетворительное состояние здоровья (субъективная оценка)	0,693
Проживание с супругом	0,747*
Возраст	1,075
Отсутствие физической активности	1,103
Трудности при получении МП и покупки лекарств из-за недостатка финансовых средств	1,604
Проживание в сельской местности	1,992

Примечание:  $p < 0,001$  для всех параметров, \* —  $p < 0,05$ .

- не доверяли или полностью не доверяли врачу-терапевту участкового медиана 2,5 против 2,3  $p < 0,001$ );
- имели рациональное медицинское поведение (медиана 2,3 против 2,1;  $p < 0,05$ ).

Анализ влияния различных факторов на шанс попадания респондентов в верхний квартиль по уровню выраженности цифровых барьеров позволил выделить предикторы возникновения цифровых барьеров: проживание в сельской местности (ОШ = 1,992), трудности финансового характера (ОШ = 1,604), низкая физическая активность (ОШ = 1,103), более преклонный возраст (ОШ = 1,075; Таблица 2). Интересной особенностью является также наличие среди факторов не одинокое проживание: проживание с супругом (ОШ = 0,747) или другими родственниками (ОШ = 0,685), хорошее состояние здоровья (ОШ = 0,371) (Таблица 3).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Цифровые медицинские сервисы должны обеспечивать повышение доступности и удовлетворенности населения МП, вовлечение в здоровьесберегающее поведение, в том числе формирование установок у граждан по профилактике и своевременному контролю течения хронических заболеваний [7].

Несмотря на очевидные преимущества использования и интенсивное внедрение цифровых медицинских сервисов в здравоохранении, обзор исследований российских и зарубежных авторов показал, что лица старше трудоспособного возраста остаются наиболее уязвимой группой пациентов в части их освоения [8, 9]. Запуск нового национального проекта «Продолжительная и активная жизнь», анонсированного Президентом

Российской Федерации В.В. Путиным 29 февраля 2024 года в ходе оглашения послания Федеральному собранию и направленного на рост продолжительности жизни более 80 лет, сохранение здоровья граждан старше трудоспособного возраста, актуализирует и приоритизирует поиск решений, направленных на преодоление цифрового неравенства при использовании электронных сервисов лицами пожилого возраста [10].

Выявленное в ходе исследования отсутствие доступа к необходимой для использования цифровых медицинских сервисов техники (смартфоны, планшеты, ноутбуки, компьютеры) почти у половины лиц старше трудоспособного возраста подтверждает выводы других исследователей о наличии препятствий, возможно, обусловленных высокой стоимостью данного оборудования с одной стороны, а с другой — отсутствием мотивации к их приобретению в силу нежелания обучаться и повышать свой уровень цифровой грамотности [11].

Другой особенностью исследуемой категории пациентов является сохраняющееся предпочтение традиционных форм записи на прием к врачу, требующих личного или телефонного обращения в МО. Как показал анализ, запись через интернет использует лишь пятая часть опрошенных. Это объясняется наличием нескольких групп факторов, связанных как с наличием ограничения физических и когнитивных способностей представителей данной группы, так и с условиями проживания (более выражено у сельских жителей), отсутствием физической и социальной активности. Данную особенность необходимо учитывать и предоставлять возможность пожилым записываться теми способами, которые

обеспечат доступность МП [12, 13]. Выявленные барьеры в виде размещения неактуальной информации, использования мелкого шрифта и невозможности изменения его размера, взаимодействия с чат-ботом должны быть нивелированы на этапе разработки предлагаемых сервисов, а также адаптировать сервисы для записи, в том числе голосовые помощники, под особенности пожилых людей.

Кроме того, исследование показало, что значительная часть пожилых пациентов нуждается в посторонней помощи для использования цифровых медицинских сервисов. Эта проблема приобретает особую значимость при наличии фактора одиночества или отдельном проживании, поэтому важно обеспечить поддержку для этой категории лиц со стороны социальных служб, волонтерских организаций [14].

Существенным открытием проведенного нами исследования стало выявление предикторов возникновения барьеров при использовании цифровых медицинских сервисов у пациентов старше трудоспособного возраста, таких как проживание в сельской местности, низкая физическая активность, более преклонный возраст, а также финансовые трудности. Полученные нами данные позволяют более целенаправленно принимать решения управленческого и организационного характера, направленные на повышение доступности предлагаемых цифровых сервисов и МП в целом. Важным направлением является повышение уровня мотивации у лиц старше трудоспособного возраста к активному использованию цифровых медицинских сервисов посредством проведения обучающих программ и семинаров, а также предоставления поддержки и консультаций администратором холла и сотрудниками контактного центра медицинских организаций для пожилых людей, испытывающих трудности при использовании электронных сервисов.

## Выводы

1. Обеспеченность лиц старше трудоспособного возраста техникой для использования

цифровых медицинских сервисов неудовлетворительная. Почти половина пожилых людей не располагают необходимыми гаджетами.

2. Пожилые пациенты предпочитают традиционные формы записи на прием с возможностью личного обращения или по телефону. Запись через интернет использует только каждый пятый респондент.
3. Несмотря на то, что преобладающая часть участников исследования не испытывает страха или неуверенности при записи на прием к врачу или на процедуры через интернет, около четверти пациентов нуждаются в сторонней помощи при использовании данного сервиса.
4. Неадаптированные под потребности пожилых дизайн и контент сайтов медицинских организаций создают барьеры для получения необходимой информации данной категорией пациентов.
5. Среди участников исследования выявлена низкая мотивация к обучению навыкам использования цифровых медицинских сервисов и их активному использованию при получении МП.
6. Предикторами возникновения барьеров при использовании цифровых медицинских сервисов наиболее часто выступают проживание в сельской местности, низкая физическая активность, более преклонный возраст, трудности финансового характера.
7. Преодоление цифровых барьеров требует системной работы как в части адаптации предлагаемых сервисов под особенности пациентов старше трудоспособного возраста, так и повышения их цифровой грамотности посредством проведения необходимых образовательных мероприятий, оказания консультативной помощи со стороны сотрудников медицинских организаций, социальных служб, родственников.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. World Population Prospects, 2022. Summary of Results. Available from: [https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022\\_summary\\_of\\_results.pdf](https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf).
2. Груздева М.А., Барсуков В.Н. Здоровье населения старших возрастов: современные вызовы // Society and Security Insights. — 2018. — Т.1. — №4. — С.184-191. [Gruzdeva MA, Barsukov VN. Health of aged population: contemporary challenges. Society and Security Insights. 2018; 1(4): 184-191. (In Russ.)]

3. Иванов В.Н., Суворов А.В. Современные проблемы развития российского здравоохранения. Часть 1 // Проблемы прогнозирования. — 2021. — №6(189). — С.59-71. [Ivanov VN, Suvorov AV. Modern development problems of russian healthcare (part 1). Studies on Russian Economic Development. 2021; 6(189): 59-71. (In Russ.)] doi: 10.47711/0868-6351-189-59-71.
4. Орлов Г.М. Цифровое развитие здравоохранения: акцент на трансформации взаимодействия с пациентом // Информационное общество: образование, наука, культура и технологии будущего. — 2021. — №5. — С.9-16. [Orlov GM. Digital development of healthcare: emphasis on the transformation of interaction with the patient. The Information Society: Education, Science, Culture and Technologies of the Future. 2021; 5: 9-16. (In Russ.)] doi: 10.17586/2587-8557-2021-5-09-16.
5. Орлов Г.М. Цифровое здравоохранение: программно-целевой подход и проблемы старения // International Journal of Open Information Technologies. — 2022. — Т.10. — №11. — С.113-125. [Orlov GM. Digital healthcare: program-targeted approach and the problems of aging. International Journal of Open Information Technologies. 2022; 10(11): 113-125. (In Russ.)]
6. Орлов Г.М., Чугунов А.В. Цифровое здравоохранение: использование электронных сервисов пожилыми // Успехи геронтологии. — 2023. — Т.36. — №3. — С.375-382. [Orlov GM, Chugunov AV. Digital health: elderly use of electronic services. Advances in Gerontology. 2023; 36(3): 375-382. (In Russ.)] doi: 10.34922/AE.2023.36.3.012.
7. Рожкова Е.В. Обеспечение доступности профилактических медицинских услуг: возможности цифровых технологий // Интеллект. Инновации. Инвестиции. — 2019. — №7. — С.83-89. [Rozhkova EV. Availability of preventive health services: opportunities of digital technologies. Intellect. Innovations. Investments. 2019; 7: 83-89. (In Russ.)] doi: 10.25198/2077-7175-2019-7-83.
8. Wilson J, Heinsch M, Betts D, et al. Barriers and facilitators to the use of e-health by older adults: a scoping review. BMC Public Health. 2017; 21(1): 1556. doi: 10.1186/s12889-021-11623-w.
9. Богдан И.В., Волкова О.А., Иглицына И.С., Чистякова Д.П. Внедрение гаджетов в систему мониторинга показателей здоровья населения: социологическое исследование // Вопросы управления. — 2022. — №3(76). — С.33-45. [Bogdan IV, Volkova OA, Iglycyna IS, Chistyakova DP. Introduction of gadgets in the monitoring system of population health indicators. Management issues. 2022; 3(76): 33-45. (In Russ.)] doi: 10.22394/2304-3369-2022-3-33-45.
10. Послание Президента РФ Федеральному Собранию от 29.02.2024. Доступно по: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_471111/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_471111/). Ссылка активна на 02.12.2024. [Message of the President of the Russian Federation to the Federal Assembly of 29.02.2024 (In Russ.)] [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_471111/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_471111/). accessed 02.12.2024.
11. Zibrik L, Khan S, Bangar N, Stacy E, Novak Lauscher H, Ho K. Patient and community centered eHealth: exploring eHealth barriers and facilitators for chronic disease self-management within British Columbia's immigrant Chinese and Punjabi seniors. Health Policy and Technology. 2015; 4(4): 348-56. doi: 10.1016/j.hlpt.2015.08.002.
12. Эльбек Ю.В., Нефедов Р.Д. Приверженность граждан при осуществлении записи к врачу в условиях информатизации здравоохранения // ОРГЗДРАВ: новости, мнения, обучение. Вестник ВШОУЗ. — 2022. — Т.8. — №2. — С.146-153. [Elbek YuV, Nefyodov RD. Commitment of citizens when making an appointment with a doctor in the conditions of health informatization. Healthcare management: news. views. education. bulletin of vshouz. 2022; 8(2): 146-153. (In Russ.)] doi: 10.33029/2411-8621-2022-8-2-146-153.
13. Рубес М.А., Горлова Е.А. Разработка и развитие системы ЕМИАС (единая медицинская информационно-аналитическая система) на территории Краснодарского края. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-razvitie-sistemy-emias-edinaya-meditsinskaya-informatsionno-analiticheskaya-sistema-na-territorii-krasnodarskogo-kraya/viewer>. Ссылка активна на: 02.12.2024. [Rubes MA, Gorlova EA. Razrabotka i razvitie sistemy EMIAS (edinaya medicinskaya informacionno-analiticheskaya sistema) na territorii Krasnodarskogo kraja. <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-razvitie-sistemy-emias-edinaya-meditsinskaya-informatsionno-analiticheskaya-sistema-na-territorii-krasnodarskogo-kraya/viewer>. accessed 02.12.2024. (In Russ.)]
14. Щедрова И.А. Анализ визуально-коммуникационной доступности сайтов здравоохранения для пожилого населения. Доступно по: [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/119975/1/978-5-7996-3584-8\\_2022\\_043.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/119975/1/978-5-7996-3584-8_2022_043.pdf). Ссылка активна на: 02.12.2024. [SHCHedrova IA. Analiz vizual'no-kommunikacionnoj dostupnosti sajtov zdravooxraneniya dlya pozhilogo naseleniya. [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/119975/1/978-5-7996-3584-8\\_2022\\_043.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/119975/1/978-5-7996-3584-8_2022_043.pdf). accessed 02.12.2024. (In Russ.)]

**ШАХГЕЛЬДЯН К.И.,**

д.т.н., доцент, Владивостокский государственный университет, Владивосток, Россия,  
e-mail: carinashakh@gmail.com

**КОСТЕРИН В.В.,**

Владивостокский государственный университет, Владивосток, Россия, e-mail: kosterin\_vv@protonmail.com

**РУБЛЕВ В.Ю.,**

Владивостокский государственный университет, Владивосток, Россия; Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия, e-mail: groxmer@gmail.com

**ГЕЛЬЦЕР Б.И.,**

д.м.н., профессор, член-корр. РАН, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия;  
Владивостокский государственный университет, Владивосток, Россия, e-mail: boris.geltser@vvsu.ru

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ И ВНУТРИГОСПИТАЛЬНОЙ ЛЕТАЛЬНОСТИ У БОЛЬНЫХ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА ПОСЛЕ КОРОНАРНОГО ШУНТИРОВАНИЯ

DOI: 10.25881/18110193\_2024\_4\_28

**Аннотация.** Цель исследования состояла в оценке эффективности методов синтеза данных SMOTE, GAN и VAE в задачах прогнозирования послеоперационной фибрилляции предсердий (ПоФП) и внутригоспитальной летальности (ВГЛ) у больных ишемической болезнью сердца (ИБС) после коронарного шунтирования (КШ).

**Материалы и методы.** Проведено одноцентровое ретроспективное исследование, в рамках которого анализировали данные историй болезней 999 больных ИБС, которым выполнялось плановое КШ. Конечные точки исследования были представлены ПоФП и ВГЛ. Разработка прогностических моделей выполнялась с использованием методов машинного обучения: многофакторной логистической регрессии (МЛР), случайного леса (СЛ) и стохастического градиентного бустинга (СГБ). Для генерации новых образцов миноритарного класса использовали 9 методов синтеза данных: 5 методов группы SMOTE, методы SOMO, GAN, WGAN и VAE.

**Результаты.** Сопоставление критериев качества прогностических моделей ПоФП и ВГЛ, разработанных на основе реальных и синтетических данных, показало, что для моделей МЛР и СЛ использование синтетических объектов не ассоциируется с повышением точности прогноза. При использовании метода СГБ для решения задачи прогнозирования ВГЛ, в которой объем мажоритарного класса является доминирующим (15 к 1), повышение качества прогноза было связано только с методом ProWRAS. В тех случаях, когда дисбаланс классов не относится к значительным (4 к 1), что соответствует конечной точке ПоФП, использование методов синтеза данных не повышает качество прогноза.

**Заключение.** Использование методов SMOTE, GAN и VAE не гарантирует повышение точности прогностических моделей ПоФП и ВГЛ у больных ИБС после КШ.

**Ключевые слова:** синтетические данные, методы синтеза данных, машинное обучение, искусственный интеллект, несбалансированная выборка.

**Для цитирования:** Шахгельдян К.И., Костерин В.В., Рублев В.Ю., Гельцер Б.И. Сравнительный анализ методов синтеза данных в задачах прогнозирования фибрилляции предсердий и внутригоспитальной летальности у больных ишемической болезнью сердца после коронарного шунтирования. Врач и информационные технологии. 2024; 4: 28-37. doi: 10.25881/18110193\_2024\_4\_28.

**SHAKHGELDYAN K.I.,**

DSc., Prof, Vladivostok State University, Vladivostok, Russia,  
e-mail: carinashakh@gmail.com

**KOSTERIN V.V.,**

Vladivostok State University, Vladivostok, Russia, e-mail: kosterin\_vv@protonmail.com

**RUBLEV V.YU.,**

Vladivostok State University, Vladivostok, Russia; Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia,  
e-mail: groxmer@gmail.com

**GELTSER B.I.,**

DSc., Prof, corresponding member RAS, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia;  
Vladivostok State University, Vladivostok, Russia, e-mail: boris.geltser@vvsu.ru

## COMPARATIVE ANALYSIS OF DATA SYNTHESIS METHODS IN THE TASK OF PREDICTING ATRIAL FIBRILLATION AND IN-HOSPITAL MORTALITY IN PATIENTS WITH CORONARY HEART DISEASE AFTER CORONARY ARTERY BYPASS GRAFTING

DOI: 10.25881/18110193\_2024\_4\_28

**Abstract.** The aim of the study was to evaluate the performance of SMOTE, GAN and VAE data synthesis methods in the task of predicting postoperative atrial fibrillation (PoAF) and in-hospital mortality (IHM) in coronary heart disease (CH) patients after coronary artery bypass grafting (CABG).

**Materials and methods.** A single-center retrospective study was conducted, in which the medical history data of 999 patients with CHD undergoing elective CABG were analyzed. The end points of the study were PoAF and IHM. Development of predictive models was performed using machine learning methods: multivariate logistic regression (MLR), random forest (RF) and eXtreme Gradient Boosting (XGB). Nine data synthesis methods were used to generate new minority class samples: 5 SMOTE group methods, SOMO, GAN, WGAN and VAE methods.

**Results.** Comparison of quality criteria for the predictive models of PoAF and IHM, developed on the basis of real and synthetic data, showed that for the MLR and RF models, the use of synthetic objects was not associated with an increase in prediction accuracy. When using the XGB method to solve IHM prediction problem, in which the majority class volume was dominant (15 to 1), only the ProWRAS method was associated with an increase in prediction quality. When class imbalance is not significant (4 to 1), which corresponds to the PoAF end point, the use of data synthesis methods does not improve prediction quality.

**Conclusion.** The use of SMOTE, GAN and VAE methods does not guarantee an improvement in the accuracy of predictive models for PoAF and IHM in CHD patients after CABG.

**Keywords:** synthetic data, data synthesis methods, machine learning, artificial intelligence, unbalanced sampling.

**For citation:** Shakhgeldyan K.I., Kosterin V.V., Rublev V.Yu., Geltser B.I. Comparative analysis of data synthesis methods in the task of predicting atrial fibrillation and in-hospital mortality in patients with coronary heart disease after coronary artery bypass grafting. Medical doctor and information technology. 2024; 4: 28-37. doi: 10.25881/18110193\_2024\_4\_28.

## ВВЕДЕНИЕ

Машинное обучение (МО) все чаще используется в клинической медицине для решения прогностических задач, связанных с оценкой рисков развития различных заболеваний и их осложнений [1, 2]. Особое значение прогнозирование неблагоприятных событий имеет для кардиологической практики в связи с доминирующей смертностью населения в большинстве стран мира от сердечно-сосудистых заболеваний, среди которых важное место занимает ишемическая болезнь сердца (ИБС) [3]. Коронарное шунтирование (КШ) является одним из основных методов реваскуляризации миокарда, позволяющим увеличить продолжительность и качество жизни больных. Вместе с тем выполнение КШ связано с риском развития неблагоприятных событий, включающих послеоперационную фибрилляцию предсердий (ПоФП) и внутригоспитальную летальность (ВГЛ), вероятность развития которых оценивают с помощью прогностических моделей, решающих основную задачу классификации — отнесение пациентов к одному из двух классов: с благоприятным или осложненным исходом операции. Количественный дисбаланс анализируемых групп больных является одной из проблем, ограничивающих точность прогностических исследований [4, 5]. Для ее преодоления используются методы увеличения данных за счет генерации «похожих» образцов миноритарного класса [6, 7].

К основным методам синтеза новых объектов относят группы методов SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique), GAN (Generative Adversarial Networks) и VAE (Variational AutoEncoder) [8-10]. Методы SMOTE чаще применяют для синтеза клинических данных, а методы на основе генеративных нейронных сетей — для медицинских изображений и сигналов [11, 12]. В последние годы фиксируется возрастающий интерес к использованию синтетических образцов для повышения качества прогнозирования в клинической медицине [5, 13]. При этом подчеркивается необходимость дополнительного анализа валидности прогностических моделей, обученных на синтезированных данных.

**Цель исследования** состояла в оценке эффективности методов синтеза данных SMOTE, GAN и VAE в задачах прогнозирования ПоФП и ВГЛ у больных ИБС после КШ.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено одноцентровое ретроспективное исследование на датасете «Прогностическая оценка клиничко-функционального статуса пациентов с ИБС после КШ» (Rublev V.Yu., Geltser B.I., Shakhgeldyan K.I. FEFU. State Registration Certificate No. 2022621907, publ. 08/02/2022, bul. #8), включающем сведения о 999 больных стабильной ИБС, которым в период с 2008 по 2021 гг. в ГБУЗ «Приморская краевая клиническая больница №1» г. Владивостока выполнялось плановое КШ. Для оценки эффективности методов синтеза данных были рассмотрены 2 задачи прогнозирования неблагоприятных событий с разным уровнем дисбаланса классов. Для прогнозирования ПоФП выделено 2 группы лиц, 1-я из которых (миноритарная) была представлена 153 (19,1%) пациентами с пароксизмами ПоФП, а 2-я (мажоритарная) — 648 (80,9%) больными, у которых сохранялся нормальный сердечный ритм. В задаче прогнозирования ВГЛ миноритарную группу составили 63 (6,3%) больных, умерших в стационаре в течение первых 30 суток после КШ, а мажоритарную — 936 (93,7%) пациентов с благоприятным исходом операции. В задаче прогнозирования ВГЛ дисбаланс классов был значительно выше, чем при прогнозировании ПоФП. Миноритарные группы в обоих случаях кодировались «1», мажоритарные — «0».

Статистический анализ данных, характеризующих дооперационный клиничко-функциональный статус больных ИБС, процедуры отбора потенциальных предикторов, их валидация и разработка прогностических моделей ПоФП и ВГЛ на основе многофакторной логистической регрессии (МЛР), случайного леса (СЛ) и стохастического градиентного бустинга (СГБ) были выполнены авторами проводимого исследования ранее и представлены в научных публикациях [14, 15]. Предикторы, выделенные в этих исследованиях, были использованы в настоящей работе для обучения и кросс-валидации прогностических моделей, а также для оценки предиктивной ценности сгенерированных данных миноритарного класса.

Синтез новых образцов выполнялся 9 методами: SMOTE, Polynom-fit-SMOTE, Proximity Weighted Random Affine Shadow Sampling (ProWRAS), Clustering Using Representatives (CURE) — SMOTE (CURE-SMOTE), Proximity Weighted Synthetic Oversampling Technique (ProWSyn), Self-Organizing

Map Oversampling (SOMO), GAN, Wasserstein GAN (WGAN) и VAE только для миноритарных классов. Для обучения моделей на реальных и синтезированных данных использовали методы МЛР, СГБ и СЛ. Кросс-валидация моделей выполнялась методом стратифицированного K-Fold по 10 выборкам. Метрики качества моделей при кросс-валидации включали: площадь под ROC-кривой (AUC), чувствительность (Sens) и специфичность (Spec), которые оценивали путем усреднения по 10 валидирующим выборкам. Поскольку синтез данных выполнялся только для миноритарного класса, то задачей итогового тестирования являлась оценка способности обученных на комбинированных данных моделей корректно классифицировать реальные образцы миноритарного класса. Поэтому для проверки гипотезы о возможности использования синтетических данных для обучения моделей применяли показатель Sens, который рассчитывается по формуле:

$$\text{Sensitivity (Sens)} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN}),$$

где: TP — количество корректно классифицированных объектов класса «1» (миноритарный

класс), а FN — количество некорректно классифицированных объектов того же класса. Несмотря на то, что процедура синтеза данных не рассматривала мажоритарный класс, мы дополнительно рассчитали показатель Spec по формуле:

$$\text{Specificity (Spec)} = \text{TN} / (\text{TN} + \text{FP})$$

где: TN — количество корректно классифицированных объектов класса «0» (мажоритарный класс), а FP — количество некорректно классифицированных объектов того же класса. Для сравнительной оценки методов синтеза анализировали метрики качества, 95% доверительные интервалы (ДИ) их медианных значений и p-value, которые рассчитывали с помощью метода Манна-Уитни.

Дизайн исследования включал 3 этапа (рис. 1). На первом из них из датасета реальных данных случайным образом были извлечены 30% объектов, обозначенных набором данных T, которые имели конечную точку, равную «1». Данные этой когорты больных не участвовали в синтезе образцов, обучении и кросс-валидации моделей. Они использовались только для завершающего

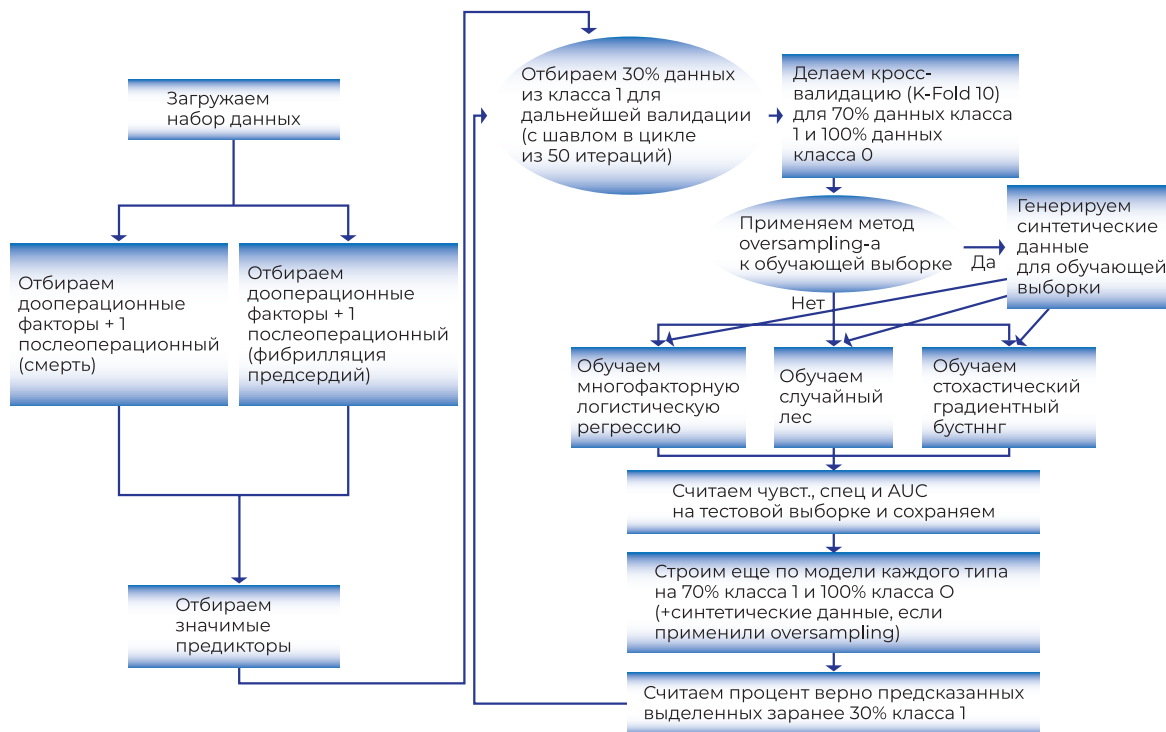


Рисунок 1 — Дизайн исследования.



тестирования моделей, обученных и валидированных на комбинации реальных и синтезированных данных. Оставшиеся данные (70% объектов с конечной точкой «1» и 100% объектов с конечной точкой «0»), обозначенные как набор  $L$ , были использованы для обучения и кросс-валидации прогностических моделей. На этом этапе на основе выявленных ранее предикторов ПоФП и ВГЛ были обучены и кросс-валидированы модели МЛР, СЛ и СГБ, которые авторы рассматривали как baseline-модели.

На втором этапе исследования к данным набора  $L$  были применены 9 методов синтеза данных. Для обеспечения равномерности использования реальных и синтезированных данных при обучении моделей генерация выполнялась внутри цикла кросс-валидации отдельно для каждого из 10 обучающих наборов данных. Полученные после синтеза обучающие выборки были сбалансированы и содержали как реальные, так и синтезированные данные. В цикле по 10 выборкам валидация моделей МЛР, СЛ и СГБ выполнялась на реальных данных из набора  $L$  и на комбинированных данных. При обучении и кросс-валидации всех моделей выполнялась подгонка гиперпараметров с целью максимизации метрики AUC, усредненной по 10 валидирующим выборкам.

На третьем этапе исследования все модели, включая те, которые были разработаны только на реальных данных, и те, для обучения которых использовались комбинированные выборки, были протестированы на 30% выделенных ранее данных набора  $T$ , имеющих конечную точку «1».

Для повышения уровня достоверности результатов все этапы исследования, начиная со случайного извлечения 30% образцов класса «1», повторялись 100 раз, а все метрики качества усреднялись. Подгонка гиперпараметров моделей выполнялась только на первом шаге этого цикла, на следующих шагах они использовались без изменений. Конечные точки исследования были представлены ПоФП и ВГЛ, которые отличались дисбалансом миноритарного и мажоритарного классов различной степени выраженности. Это позволяло оценить влияние данного фактора и методов синтеза клинических данных на точность прогностических моделей.

Исследование выполнялись в Python версии 3.9.18. Для генерации синтетических данных

были использованы библиотеки с открытым исходным кодом: smote\_variants версии 0.7.3 для применения smote методов, keras версии 2.15.0 для реализации генеративных нейронных сетей. Для разработки моделей МЛР и СЛ использована библиотека scikit-learn, версии 1.4.0, а для СГБ — xgboost, версии 2.0.3.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В настоящем исследовании было рассмотрено 2 задачи на одном датасете, в первой из которых (прогнозирование ПоФП) дисбаланс миноритарного и мажоритарного классов составлял 20%/80%, а во второй (прогнозирование ВГЛ) — 6%/94%. Для прогнозирования ПоФП использовали датасет реальных клинических данных, включающих показатели 121 пациента из класса «1», 716 пациентов из класса «0» и 595 «синтетических» пациентов. Для заключительного тестирования использовали показатели 52 больных из класса «1», которых выделили из реального датасета до процедуры синтеза данных. Прогностические модели ПоФП были разработаны на основе ранее выделенных предикторов: возраст больных, концентрация глюкозы в крови, показатели электрокардиограммы (продолжительность PQ, QRS, QT), размеры правого предсердия и наличие хронической сердечной недостаточности III-IV функционального класса. Таким образом, синтетические данные были представлены непрерывными и категориальными показателями. Результаты кросс-валидации и заключительного тестирования моделей прогноза ПоФП на основе методов МЛР, СЛ и СГБ, приведены в таблице 1.

Сопоставление метрик качества прогностических моделей ПоФП на основе реальных (baseline) и сгенерированных данных указывало на то, что использование большинства методов синтеза не ассоциировалось с повышением точности прогноза. Так, при разработке моделей на базе МЛР ни один из методов синтеза данных не повышал их прогностическую точность, а два метода вели к статистически значимому снижению точности (VAE и ProWSyn), что иллюстрировалось по крайней мере одной из двух метрик качества: AUC или Sens на когорте  $T$ . Модели СЛ и СГБ, разработанные на основе синтезированных данных, демонстрировали точность на уровне baseline-моделей.

Таблица 1 — Метрики качества моделей МЛР, СЛ и СГБ для прогнозирования ПоФП

Методы синтеза	Кросс-валидация			Итоговое тестирование	
	Sens, [95% ДИ]	Спец, [95% ДИ]	AUC, [95% ДИ]	Sens, [95% ДИ]	Спец, [95% ДИ]
<b>МЛР</b>					
SMOTE	0,56 [0,55; 0,58]	0,58 [0,57; 0,6]	0,63 [0,62; 0,64]	0,6 [0,58; 0,62]	0,6 [0,58; 0,63]
ProWSyn	0,56 [0,55; 0,58]	0,57 [0,56; 0,59]	0,62 [0,61; 0,63]	0,6 [0,58; 0,62]	0,61 [0,58; 0,64]
SOMO	0,6 [0,58; 0,61]	0,6 [0,58; 0,61]	0,63 [0,62; 0,64]	0,61 [0,59; 0,63]	0,59 [0,56; 0,61]
CURE_SMOTE	0,59 [0,58; 0,6]	0,58 [0,56; 0,59]	0,63 [0,62; 0,64]	0,6 [0,58; 0,62]	0,62 [0,58; 0,65]
Polynom-fit-SMOTE	0,59 [0,57; 0,61]	0,59 [0,58; 0,6]	0,63 [0,62; 0,64]	0,6 [0,58; 0,62]	0,59 [0,56; 0,61]
ProWRAS	0,58 [0,57; 0,6]	0,61 [0,6; 0,62]	0,64 [0,62; 0,67]	0,6 [0,55; 0,65]	0,6 [0,57; 0,62]
GAN	0,58 [0,56; 0,59]	0,59 [0,58; 0,61]	0,63 [0,61; 0,64]	0,58 [0,54; 0,63]	0,57 [0,55; 0,6]
WGAN	0,58 [0,56; 0,6]	0,61 [0,58; 0,63]	0,63 [0,61; 0,65]	0,56 [0,52; 0,61]	0,61 [0,58; 0,63]
VAE	0,46 [0,42; 0,49]	0,5 [0,47; 0,52]	0,46 [0,43; 0,49]	0,45 [0,4; 0,51]	0,5 [0,47; 0,53]
<b>baseline-модель на реальных данных</b>	<b>0,6 [0,58; 0,61]</b>	<b>0,6 [0,59; 0,61]</b>	<b>0,64 [0,63; 0,65]</b>	<b>0,61 [0,59; 0,63]</b>	<b>0,6 [0,57; 0,62]</b>
<b>СЛ</b>					
SMOTE	0,6 [0,59; 0,62]	0,62 [0,6; 0,63]	0,65 [0,64; 0,66]	0,6 [0,58; 0,62]	0,63 [0,61; 0,66]
ProWSyn	0,61 [0,6; 0,62]	0,62 [0,61; 0,63]	0,65 [0,64; 0,66]	0,6 [0,58; 0,62]	0,66 [0,63; 0,68]
SOMO	0,6 [0,59; 0,62]	0,6 [0,59; 0,62]	0,64 [0,63; 0,65]	0,59 [0,57; 0,62]	0,65 [0,63; 0,67]
CURE_SMOTE	0,61 [0,6; 0,63]	0,6 [0,58; 0,61]	0,65 [0,64; 0,66]	0,6 [0,58; 0,62]	0,65 [0,63; 0,67]
Polynom-fit-SMOTE	0,6 [0,58; 0,61]	0,6 [0,59; 0,62]	0,64 [0,63; 0,65]	0,58 [0,56; 0,6]	0,64 [0,62; 0,67]
ProWRAS	0,6 [0,59; 0,62]	0,62 [0,6; 0,64]	0,65 [0,63; 0,67]	0,59 [0,56; 0,63]	0,65 [0,63; 0,68]
GAN	0,59 [0,56; 0,63]	0,63 [0,6; 0,66]	0,65 [0,63; 0,67]	0,57 [0,52; 0,61]	0,66 [0,64; 0,68]
WGAN	0,61 [0,59; 0,63]	0,6 [0,58; 0,62]	0,65 [0,64; 0,66]	0,58 [0,54; 0,63]	0,62 [0,6; 0,64]
VAE	0,6 [0,57; 0,62]	0,6 [0,58; 0,62]	0,64 [0,61; 0,66]	0,58 [0,54; 0,63]	0,64 [0,62; 0,67]
<b>baseline-модель на реальных данных</b>	<b>0,61 [0,6; 0,63]</b>	<b>0,61 [0,59; 0,62]</b>	<b>0,65 [0,64; 0,66]</b>	<b>0,6 [0,57; 0,61]</b>	<b>0,64 [0,62; 0,66]</b>
<b>СГБ</b>					
SMOTE	0,6 [0,58; 0,61]	0,61 [0,6; 0,62]	0,65 [0,63; 0,66]	0,58 [0,56; 0,6]	0,62 [0,59; 0,65]
ProWSyn	0,58 [0,56; 0,59]	0,61 [0,6; 0,63]	0,64 [0,63; 0,65]	0,58 [0,56; 0,6]	0,65 [0,62; 0,68]
SOMO	0,6 [0,58; 0,61]	0,6 [0,59; 0,61]	0,65 [0,63; 0,66]	0,6 [0,57; 0,62]	0,61 [0,59; 0,62]
CURE_SMOTE	0,6 [0,59; 0,62]	0,61 [0,59; 0,62]	0,65 [0,64; 0,66]	0,6 [0,58; 0,63]	0,64 [0,62; 0,66]
Polynom-fit-SMOTE	0,6 [0,59; 0,61]	0,6 [0,59; 0,61]	0,65 [0,64; 0,66]	0,61 [0,59; 0,64]	0,61 [0,59; 0,63]
ProWRAS	0,62 [0,6; 0,64]	0,61 [0,6; 0,62]	0,67 [0,65; 0,69]	0,6 [0,57; 0,64]	0,62 [0,59; 0,64]
GAN	0,61 [0,58; 0,64]	0,61 [0,59; 0,63]	0,65 [0,63; 0,67]	0,61 [0,56; 0,65]	0,62 [0,6; 0,64]
WGAN	0,61 [0,59; 0,63]	0,61 [0,58; 0,64]	0,65 [0,63; 0,67]	0,6 [0,55; 0,64]	0,6 [0,58; 0,63]
VAE	0,6 [0,57; 0,62]	0,6 [0,58; 0,63]	0,64 [0,63; 0,65]	0,6 [0,55; 0,64]	0,62 [0,6; 0,65]
<b>baseline-модель на реальных данных</b>	<b>0,6 [0,59; 0,61]</b>	<b>0,61 [0,6; 0,62]</b>	<b>0,65 [0,64; 0,66]</b>	<b>0,6 [0,58; 0,61]</b>	<b>0,61 [0,59; 0,63]</b>

Сокращения: МЛР — многофакторная логистическая модель, СЛ — случайный лес, СГБ — стохастический градиентный бустинг, SMOTE — Synthetic Minority Oversampling Technique, SOMO — Self-Organizing Map Oversampling, ProWSyn — Proximity Weighted Synthetic Oversampling Technique, ProWRAS — Proximity Weighted Random Affine Shadow sampling, CURE-SMOTE — Clustering Using Representatives — SMOTE, GAN — Generative Adversarial Networks, WGAN — Wasserstein GAN, VAE — Variational AutoEncoder.

Для прогнозирования ВГЛ использовали датасет реальных клинических данных, включающих показатели 58 пациентов из класса «1», 561 пациента из класса «0» и 503 «синтетических» пациентов. Для заключительного тестирования использовали показатели 17 больных из класса «1», которых выделили из реального датасета до процедуры синтеза данных. Для разработки моделей ВГЛ использовали ранее отобранные предикторы: возраст больных, фракцию выброса левого желудочка, конечный диастолический и конечный систолический объемы левого желудочка, среднее давление в легочной артерии, размеры левого и правого предсердия, уровень нейтрофилов крови, тромбиновое время, клиренс креатинина, наличие сердечной недостаточности и стенокардии III–IV функциональных классов, экстракардиальной артериопатии, недавно перенесенного инфаркта миокарда. Результаты кросс-валидации и заключительного тестирования приведены в таблице 2.

Сопоставление метрик качества прогностических моделей ВГЛ, разработанных на основе комбинированных данных, с baseline-прогнозом на основе МЛР показало, что использование синтетических данных не приводило к улучшению качества прогноза. Модели СЛ с использованием метода Polynom-fit-SMOTE показывали статистически значимое повышение метрики AUC и Spes при сопоставимой Sens на когорте T (AUC — 0,82 vs 0,8, Spes — 0,78 vs 0,71, Spes на когорте T — 0,81 vs 0,74, p-value < 0,01). Остальные методы синтеза данных не оказывали влияния на качество прогноза. Для моделей СГБ статистически значимо лучшие результаты ассоциировались с методом ProWRAS, при использовании которого значения AUC (0,82 vs 0,77), Sens (0,74 vs 0,7) и Spes (0,75 vs 0,71) значимо возрастали (p-value < 0,001). Повышение метрики Sens на когорте T (0,77 vs 0,75) не было статистически значимым (p-value = 0,104). Методы Polynom-fit-SMOTE и SMOTE показал статистически значимое снижение большинства метрик качества (AUC — 0,73/0,74 vs 0,77, Spes — 0,65/0,67 vs 0,71, Sens — 0,64 vs 0,7, Sens на когорте T — 0,63 vs 0,75, p-value < 0,01). Остальные методы синтеза данных демонстрировали сопоставимые с baseline-моделью результаты (AUC — 0,77-0,79 vs 0,77) и Sens на когорте T (0,75-0,76 vs 0,75) при значениях p-value > 0,05.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В задачах прогнозирования неблагоприятных событий в клинической медицине, где наблюдается небольшой размер миноритарного класса, важным является вопрос о возможности применения синтезированных данных при обучении моделей [11]. Анализ литературы свидетельствует о том, что в кардиологии для решения проблемы дисбаланса табличных клинических данных чаще используют алгоритмы группы SMOTE [12]. Для диагностики на основе медицинских изображений или электрофизиологических сигналов применяют алгоритмы GAN и VAE [12, 16]. При этом в большинстве таких исследований не рассматривается эффективность обучения прогностических и диагностических моделей на сгенерированных образцах в сравнении с использованием реальных данных [17].

Для оценки эффективности обучения на комбинированных данных было рассмотрено 9 методов синтеза, 5 из которых относятся к базовой группе методов SMOTE, используемых для генерации нового синтетического примера, располагая его в пространстве признаков между k-ближайшими соседями из миноритарного класса [8]. Эту группу дополняют методы Polynom-fit-SMOTE, CURE-SMOTE, ProWSyn, ProWRAS. Принцип работы Polynom-fit-SMOTE заключается в использовании полиномиальных кривых для генерации новых синтетических примеров, которые более точно моделируют распределение данных в миноритарном классе [18]. Алгоритм CURE-SMOTE кластеризует данные с помощью алгоритма CURE, а затем с целью генерации синтетических образцов применяется алгоритм SMOTE для миноритарного класса в каждом кластере [19]. ProWSyn генерирует новые синтетические образцы, используя копирование и изменение существующих объектов, нахождение граничных примеров и их модификацию, снижение шума с помощью бэггинга [20], а алгоритм ProWRAS интегрирует LoRAS и ProWSyn [21]. Для генерации синтетических образцов используют также метод SOMO, который формирует кластеры в двухмерном пространстве, и новые экземпляры создаются как внутри кластеров, так и с использованием точек соседних кластеров [22].

Помимо базовых методов генерации данных, которые основаны на принципе синтеза в ближайшем окружении, в медицине используются

Таблица 2 — Метрики качества моделей МЛР, СЛ и СГБ для прогнозирования ВГЛ

Методы синтеза	Кросс-валидация			Итоговое тестирование	
	Sens [95% ДИ]	Спец [95% ДИ]	AUC [95% ДИ]	Sens, [95% ДИ]	Спец, [95% ДИ]
<b>МЛР</b>					
SMOTE	0,72 [0,7; 0,75]	0,73 [0,72; 0,75]	0,78 [0,77; 0,8]	0,76 [0,74; 0,79]	0,75 [0,72;0,78]
ProWSyn	0,73 [0,72; 0,76]	0,73 [0,72; 0,74]	0,79 [0,78; 0,81]	0,76 [0,74; 0,79]	0,75 [0,72;0,78]
SOMO	0,75 [0,72; 0,77]	0,76 [0,75; 0,77]	0,82 [0,8; 0,83]	0,76 [0,73; 0,78]	0,79 [0,76;0,82]
CURE_SMOTE	0,71 [0,69; 0,74]	0,76 [0,75; 0,77]	0,79 [0,78; 0,81]	0,74 [0,72; 0,77]	0,78 [0,75;0,81]
Polynom-fit-SMOTE	0,75 [0,73; 0,78]	0,72 [0,71; 0,73]	0,8 [0,79; 0,82]	0,77 [0,75; 0,8]	0,75 [0,72;0,78]
ProWRAS	0,73 [0,7; 0,75]	0,73 [0,71; 0,75]	0,79 [0,78; 0,81]	0,77 [0,74; 0,79]	0,73 [0,69;0,76]
GAN	0,72 [0,7; 0,74]	0,76 [0,74; 0,79]	0,8 [0,78; 0,81]	0,74 [0,71; 0,77]	0,79 [0,76;0,82]
WGAN	0,75 [0,72; 0,77]	0,74 [0,71; 0,77]	0,79 [0,78; 0,82]	0,73 [0,71; 0,76]	0,81 [0,77;0,84]
VAE	0,73 [0,7; 0,75]	0,77 [0,74; 0,8]	0,8 [0,76; 0,83]	0,74 [0,71; 0,76]	0,78 [0,74;0,81]
<b>baseline-модель на реальных данных</b>	<b>0,75 [0,72;0,77]</b>	<b>0,76 [0,75; 0,77]</b>	<b>0,82 [0,8; 0,83]</b>	<b>0,76 [0,73; 0,78]</b>	<b>0,79 [0,76;0,82]</b>
<b>СЛ</b>					
SMOTE	0,72 [0,7; 0,74]	0,7 [0,68; 0,72]	0,79 [0,78; 0,8]	0,76 [0,73; 0,78]	0,72 [0,68;0,75]
ProWSyn	0,7 [0,67; 0,72]	0,77 [0,76; 0,79]	0,81 [0,8; 0,82]	0,77 [0,74; 0,8]	0,81 [0,78;0,84]
SOMO	0,70 [0,67; 0,72]	0,73 [0,72; 0,74]	0,8 [0,79; 0,82]	0,73 [0,71; 0,76]	0,77 [0,74;0,81]
CURE_SMOTE	0,7 [0,68; 0,72]	0,7 [0,69; 0,73]	0,78 [0,77; 0,79]	0,76 [0,73; 0,79]	0,71 [0,66;0,75]
<b>Polynom-fit-SMOTE</b>	0,74 [0,72; 0,76]	<b>0,78 [0,77; 0,8]</b>	<b>0,82 [0,81; 0,84]</b>	0,74 [0,72; 0,77]	<b>0,81 [0,79;0,84]</b>
ProWRAS	0,72 [0,71; 0,74]	0,76 [0,73; 0,79]	0,82 [0,79; 0,83]	0,76 [0,74; 0,79]	0,76 [0,73;0,8]
GAN	0,69 [0,67; 0,72]	0,72 [0,69; 0,75]	0,77 [0,75; 0,8]	0,74 [0,71; 0,78]	0,74 [0,7;0,77]
WGAN	0,72 [0,7; 0,73]	0,71 [0,67; 0,73]	0,79 [0,77; 0,82]	0,71 [0,68; 0,75]	0,79 [0,75;0,82]
VAE	0,73 [0,71; 0,75]	0,71 [0,69; 0,73]	0,8 [0,77; 0,82]	0,75 [0,72; 0,78]	0,77 [0,73;0,8]
<b>baseline-модель на реальных данных</b>	<b>0,72 [0,69; 0,74]</b>	<b>0,71 [0,7; 0,72]</b>	<b>0,8 [0,78; 0,81]</b>	<b>0,74 [0,71; 0,78]</b>	<b>0,74 [0,71;0,78]</b>
<b>СГБ</b>					
SMOTE	0,65 [0,63; 0,68]	0,67 [0,66; 0,69]	0,74 [0,72; 0,75]	0,7 [0,68; 0,73]	0,71 [0,68;0,75]
ProWSyn	0,73 [0,7; 0,74]	0,7 [0,68; 0,71]	0,79 [0,78; 0,8]	0,76 [0,74; 0,79]	0,74 [0,71;0,78]
SOMO	0,71 [0,69; 0,74]	0,7 [0,69; 0,72]	0,77 [0,76; 0,79]	0,75 [0,71; 0,76]	0,73 [0,7;0,76]
CURE_SMOTE	0,71 [0,68; 0,73]	0,74 [0,72; 0,75]	0,79 [0,78; 0,81]	0,73 [0,69; 0,76]	0,79 [0,76;0,82]
Polynom-fit-SMOTE	0,64 [0,62; 0,67]	0,65 [0,64; 0,72]	0,73 [0,71; 0,75]	0,63 [0,6; 0,66]	0,75 [0,7;0,8]
<b>ProWRAS</b>	<b>0,74 [0,72; 0,76]</b>	<b>0,75 [0,74; 0,76]</b>	<b>0,82 [0,8; 0,83]</b>	0,77 [0,74; 0,8]	0,78 [0,75;0,81]
GAN	0,7 [0,69; 0,72]	0,71 [0,68; 0,73]	0,78 [0,76; 0,81]	0,77 [0,74; 0,79]	0,72 [0,69;0,76]
WGAN	0,7 [0,68; 0,72]	0,72 [0,69; 0,74]	0,78 [0,77; 0,79]	0,74 [0,71; 0,77]	0,76 [0,72;0,79]
VAE	0,71 [0,69; 0,74]	0,72 [0,69; 0,74]	0,78 [0,76; 0,81]	0,75 [0,72; 0,79]	0,75 [0,72;0,78]
<b>baseline-модель на реальных данных</b>	<b>0,7 [0,67; 0,72]</b>	<b>0,71 [0,7; 0,73]</b>	<b>0,77 [0,76; 0,78]</b>	<b>0,75 [0,72; 0,77]</b>	<b>0,75 [0,72;0,78]</b>

Сокращения: МЛР — многофакторная логистическая модель, СЛ — случайный лес, СГБ — стохастический градиентный бустинг, SMOTE — Synthetic Minority Oversampling Technique, SOMO — Self-Organizing Map Oversampling, ProWSyn — Proximity Weighted Synthetic Oversampling Technique, ProWRAS — Proximity Weighted Random Affine Shadow sampling, CURE-SMOTE — Clustering Using Representatives - SMOTE, GAN — Generative Adversarial Networks, WGAN — Wasserstein GAN, VAE — Variational AutoEncoder

генеративные нейронные сети [9]. К наиболее популярным относятся генеративно-состязательные нейронные сети — GAN, WGAN и VAE. GAN состоят из двух нейронных сетей: генератора и дискриминатора, первый из которых создает синтетический объект, а второй оценивает на соответствие

реальному [23]. WGAN является улучшенной версией GAN [24]. Автоэнкодеры VAE представлены комбинацией двух соединенных нейросетей: энкодера и декодера [10]. Энкодер принимает входные данные и преобразует их в более компактную форму. В свою очередь, декодер использует

преобразованные данные для трансформации их обратно в оригинальное состояние.

Анализ эффективности методов синтеза данных выполнялся на решении двух задач прогнозирования ближайших результатов КШ у больных ИБС: ПоФП и ВГЛ. По данным литературы ПоФП фиксируется у 20–40% больных ИБС после КШ, а ВГЛ — у 2–6% больных [14, 15]. Дизайн исследования обеспечивал корректность проверки гипотезы о способности обученных на «синтетических» (комбинированных) данных моделей прогнозировать неблагоприятные события в форме ПоФП и ВГЛ. Авторами были отделены 30% реальных данных миноритарного класса от процессов синтеза искусственных объектов, обучения и кросс-валидаций моделей. Для оценки эффективности методов синтеза в задачах разработки прогностических моделей использовали 2 метрики: усредненную AUC при кросс-валидации и Sens на когорте  $T$  (итоговое тестирование моделей на неизвестных для методов синтеза реальных данных класса «1»).

Для моделей на основе МЛР ни один из методов не обеспечил статистически значимое повышение качества прогноза. Для моделей СЛ на основе синтетических данных при прогнозировании ПоФП не удалось добиться повышения метрик качества, а при прогнозировании ВГЛ статистически значимые различия фиксировались для метода Polynom-fit-SMOTE по метрикам AUC (0,82 vs 0,8), Spec (0,78 vs 0,71) и Spec на когорте  $T$  (0,81 vs 0,74)  $p$ -value < 0,01, другие метрики статистически значимо не различались. При использовании для прогнозирования ПоФП моделей СГБ также не удалось добиться повышения метрик качества, а для прогнозирования ВГЛ единственным методом синтеза, который обеспечил увеличение точности прогноза на комбинированных данных, был ProWRAS (AUC

— 0,82 vs 0,77), Sen (0,74 vs 0,7) и Spec (0,75 vs 0,71) с  $p$ -value < 0,001. Тестирование этой модели на реальных данных миноритарного класса не показало статистически значимых улучшений (Sens на когорте  $T$  — 0,77 vs 0,75 при  $p$ -value = 0,104).

### ОГРАНИЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование ограничено использованием только клинических данных. В связи с этим полученные результаты не следует транслировать на медицинские изображения и сигналы. Кроме того, в данной работе рассмотрено ограниченное число методов синтеза данных. При расширении их спектра могут быть получены результаты, отличающиеся от тех, которые были представлены в данной работе.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показали, что использование большинства известных методов синтеза данных, относящихся к группам SMOTE, GAN и VAE, не ассоциировалось с повышением точности прогностических моделей ПоФП и ВГЛ у больных ИБС после КШ. Исключение составил метод ProWRAS в модели СГБ, который обеспечил значимое повышение точности прогноза ВГЛ на комбинированных данных при отсутствии таковой на реальных. Перспектива дальнейших исследований по этой проблеме связана с разработкой новых методов синтеза данных, учитывающих различия миноритарного и мажоритарного классов.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования.** Исследование выполнено в рамках проекта Российского научного фонда (РНФ) № 23-21-00250, <https://rscf.ru/project/23-21-00250/>

### ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. May M. Eight ways machine learning is assisting medicine. *Nature Medicine*. 2021; 27: 2-3. doi: 10.1038/s41591-020-01197-2.
2. Johnson KW, Torres Soto J, Glicksberg BS, Shameer K, Miotto R, Ali M, Ashley E, Dudley JT. Artificial Intelligence in Cardiology. *Journal of the American College of Cardiology*. 2018; 71(23): 2668-79. doi: 10.1016/j.jacc.2018.03.521.
3. Arnett DK, Blumenthal RS, Albert MA, et al. 2019 ACC/AHA Guideline on the Primary Prevention of Cardiovascular Disease. *Circulation*. 2019; 140(11): e596-e646. doi: 10.1161/CIR.0000000000000678.
4. Li Y. Diagnostic Model of In-Hospital Mortality in Patients with Acute ST-Segment Elevation Myocardial Infarction Used Artificial Intelligence Methods. *Cardiology Research and Practice*. 2022; 2022: 8758617. doi: 10.1155/2022/8758617.

5. Khalaji A, Behnoush AH, Jameie M, et al. Machine learning algorithms for predicting mortality after coronary artery bypass grafting. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2022; 9. doi: 10.3389/fcvm.2022.977747.
6. Li D, Liu C, Hu S. A learning method for the class imbalance problem with medical data sets. *Computers in Biology and Medicine*. 2010; 40(5): 509-518. doi: 10.1016/j.combiomed.2010.03.005.
7. Guo X, Yin Y, Dong C, et al. On the class imbalance problem. *Proceedings of the 4th International Conference on Natural Computation*. Jinan: IEEE. 2008: 192-201. doi: 10.1109/ICNC.2008.871.
8. Chawla NV, Bowyer KW, Hall LO, Kegelmeyer WP. SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*. 2002; 16: 321-357. doi: 10.1613/jair.953.
9. Singh NK, Raza K. Medical Image Generation Using Generative Adversarial Networks: A Review. In: Patgiri R, Biswas A, Roy P (eds) *Health Informatics: A Computational Perspective in Healthcare. Studies in Computational Intelligence*. Springer, Singapore. 2021. doi: 10.1007/978-981-15-9735-0\_5.
10. Pinheiro Cinelli L, Araújo Marins M, Barros da Silva EA, Lima Netto S. Variational Autoencoder. In: *Variational Methods for Machine Learning with Applications to Deep Networks*. Springer, Cham; 2021. doi: 10.1007/978-3-030-70679-1\_5.
11. Alam T, Shaikat K, Hameed I, et al. A novel framework for prognostic factors identification of malignant mesothelioma through association rule mining. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2021; 68. doi: 10.1016/j.bspc.2021.102726.
12. Ahsan MM, Siddique Z. Machine learning-based heart disease diagnosis: A systematic literature review. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2022;128. doi: 10.1016/j.artmed.2022.102289.
13. Waljee AK, Wallace BI, Cohen-Mekelburg S, et al. Development and Validation of Machine Learning Models in Prediction of Remission in Patients With Moderate to Severe Crohn Disease. *JAMA Network Open*. 2019; 2(5). doi: 10.1001/jamanetworkopen.2019.3721.
14. Гельцер Б.И., Шахгельдян К.И., Рублёв В.Ю., Щеглов Б.О., Кокарев Е.А. Алгоритм отбора предикторов и прогнозирование фибрилляции предсердий у больных ишемической болезнью сердца после коронарного шунтирования // *Российский кардиологический журнал*. — 2021. — №26(7). — С.4522. [Geltser BI, Shakhgelydyan KI, Rublev VYu, Shcheglov BO, Kokarev EA. Algorithm for selecting predictors and prognosis of atrial fibrillation in patients with coronary artery disease after coronary artery bypass grafting. *Russian Journal of Cardiology*. 2021; 26(7): 4522. (In Russ.)] doi:10.15829/1560-4071-2021-4522.
15. Shakhgelydyan K, Geltser D, Kriger A, Geltser B, Rublev V, Shirobokov B. Feature selection strategy for intrahospital mortality prediction after coronary artery bypass graft surgery on an unbalanced sample. *ACM International Conference Proceeding Series*. Vol. 4. *Proceedings of the 4th International Conference on Computer Science and Application Engineering, CSAE 2020, 2020*; 108. doi: 10.1145/3424978.3425090.
16. Zhang Q, Wang H, Lu H, Won D, Yoon SW. Medical Image Synthesis with Generative Adversarial Networks for Tissue Recognition. In: *2018 IEEE International Conference on Healthcare Informatics*. 2018: 199-207. doi: 10.1109/ICHI.2018.00030.
17. Albert AJ, Murugan R, Sripriya T. Diagnosis of heart disease using oversampling methods and decision tree classifier in cardiology. *Research in Biomedical Engineering*. 2023; 39: 99-113. doi: 10.1007/s42600-022-00253-9.
18. Gazzah S, Essoukri N. New Oversampling Approaches Based on Polynomial Fitting for Imbalanced Data Sets. In: *The 8th IAPR Workshop on Document Analysis*. Nara: DAS. 2008: 677-684. doi: 10.1109/DAS.2008.74.
19. Ma L, Fan S. CURE-SMOTE algorithm and hybrid algorithm for feature selection and parameter optimization based on random forests. *BMC Bioinformatics*. 2017; 18(1). doi: 10.1186/s12859-017-1578-z.
20. Barua S, Islam M, Murase K. ProWSyn: Proximity Weighted Synthetic Oversampling Technique for Imbalanced Data Set Learning. In: *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*. Heidelberg: Springer-Verlag; 2013. pp. 317-328. doi: 10.1007/978-3-642-37456-2\_27.
21. Bej S, Schulz K, Srivastava P, et al. A Multi-Schematic Classifier-Independent Oversampling Approach for Imbalanced Datasets. *IEEE Access*. 2021; 9: 123358-123374. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3108450.
22. Douzas G, Bacao F. Self-Organizing Map Oversampling (SOMO) for imbalanced data set learning. *Expert Systems with Applications*. 2017; 82: 40-52. doi: 10.1016/j.eswa.2017.03.073.
23. Goodfellow IJ, Pouget-Abadie J, Mirza M, et al. Generative Adversarial Nets. *arXiv preprint arXiv:1406.2661*. 2014. doi: 10.48550/arXiv.1406.2661.
24. Arjovsky M, Chintala S, Bottou L. Wasserstein GAN. *arXiv preprint arXiv:1701.07875*. 2017. doi: 10.48550/arXiv.1701.07875.

**АНТИПОВ В.М.,**

ФГБУ «НМИЦ ТПМ» Минздрава России, г. Москва, Россия; БФУ им. И. Канта, г. Калининград, Россия, e-mail: vantipovm@gmail.com

**БАДАРИН А.А.,**

к.ф.-м.н., ФГБУ «НМИЦ ТПМ» Минздрава России, Москва, Россия; БФУ им. И. Канта, г. Калининград, Россия, e-mail: badarin.a.a@mail.ru

**КУРКИН С.А.,**

д.ф.-м.н., доцент, БФУ им. И. Канта, г. Калининград, Россия, e-mail: kurkinsa@gmail.com

**КИСЕЛЕВ А.Р.,**

д.м.н., ФГБУ «НМИЦ ТПМ» Минздрава России, г. Москва, Россия, e-mail: kiselev@gnicpm.ru

**ХРАМОВ А.Е.,**

д.ф.-м.н., профессор, БФУ им. И. Канта, г. Калининград, Россия, e-mail: hramovae@gmail.com

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С КОГНИТИВНЫМИ И МОТОРНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ

DOI: 10.25881/18110193\_2024\_4\_38

**Аннотация.** Данное исследование направлено на разработку программно-аппаратного комплекса (ПАК) для реабилитации пациентов с легкими (субклиническими) и выраженными нарушениями когнитивных процессов и моторных функций верхних конечностей, основанного на применении мультимодальной биологической обратной связи, включая транскраниальную магнитную стимуляцию.

**Материалы и методы.** В работе были использованы данные электроэнцефалографии с дополнительными каналами для записи электромиограммы здоровых добровольцев. Для классификации воображаемых движений использовались пространственный фильтр, линейный дискриминантный анализ, метод дополненной ковариационной матрицы с классификацией в пространстве касательных в многообразии Римана и метод опорных векторов.

**Результаты.** На основе проведенного нейрофизиологического исследования и анализа литературы был разработан ПАК для реабилитации пациентов с легкими (субклиническими) и выраженными нарушениями когнитивных процессов и моторных функций. Показано, что разработанные алгоритмы реального времени обладают средней точностью 86% для классификации двигательного акта, 75% для воображения с анимированным визуальным стимулом и 73% для воображения со статичным визуальным стимулом.

**Выводы.** Разработан эффективный и универсальный ПАК на основе современных алгоритмов интерфейсов «мозг-компьютер» для реабилитации пациентов с когнитивными и моторными нарушениями.

**Ключевые слова:** реабилитация, моторные нарушения, когнитивные нарушения, биологическая обратная связь, воображаемые движения.

**Для цитирования:** Антипов В.М., Бадарин А.А., Куркин С.А., Киселев А.Р., Храмов А.Е. Программно-аппаратный комплекс для реабилитации пациентов с когнитивными и моторными нарушениями. Врач и информационные технологии. 2024; 4: 38-47. doi: 10.25881/18110193\_2024\_4\_38.

**ANTIPOV V.M.,**

FSBI "NMIC TPM" of the Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia; Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, e-mail: vantipovm@gmail.com

**BADARIN A.A.,**

PhD, FSBI "NMIC TPM" of the Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia; Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, e-mail: badarin.a.a@mail.ru

**KURKIN S.A.,**

DSc, Assoc. Prof., Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, e-mail: kurkinsa@gmail.com

**KISELEV A.R.,**

DSc, FSBI "NMIC TPM" of the Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia, e-mail: kiselev@gnicpm.ru

**HRAMOV A.E.,**

DSc, Prof., Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, e-mail: hramovae@gmail.com

## HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR REHABILITATION OF PATIENTS WITH COGNITIVE AND MOTOR DISORDERS

DOI: 10.25881/18110193\_2024\_4\_38

**Abstract.** *This study is aimed at developing a hardware-software system (HSS) for the rehabilitation of patients with mild (subclinical) and severe disorders of cognitive processes and motor functions of the upper extremities based on the application of multimodal biofeedback (BFB) including transcranial magnetic stimulation (TMS).*

*Materials and Methods: Electroencephalography (EEG) data with additional channels for electromyogram (EMG) recordings data of healthy volunteers were used in the work. The spatial filter, linear discriminant analysis, augmented covariance matrix method with classification in the space of tangents in the Riemann manifold, and support vector method were used to classify imaginary movements.*

*Results: Based on the neurophysiological study and literature analysis, an HSS was developed for rehabilitation of patients with mild (subclinical) and severe impairments of cognitive processes and motor functions. The developed real-time algorithms were shown to have an average accuracy of 86% for motor act classification, 75% for imagination with an animated visual stimulus, and 73% for imagination with a static visual stimulus.*

*Conclusions: An effective and versatile HSS based on modern BCI algorithms has been developed for rehabilitation of patients with cognitive and motor disorders.*

**Keywords:** *rehabilitation, motor disorders, cognitive disorders, biofeedback, imaginary movements.*

**For citation:** Antipov V.M., Badarin A.A., Kurkin S.A., Kiselev A.R., Hramov A.E. Hardware-software complex for rehabilitation of patients with cognitive and motor disorders. Medical doctor and information technology. 2024; 4: 38-47. doi: 10.25881/18110193\_2024\_4\_38.



## ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия наблюдается значительный рост числа пациентов с когнитивными и моторными нарушениями, вызванными различными причинами, такими как инсульт, травмы головного мозга, нейродегенеративные заболевания и другие патологические состояния, которые приводят к существенному снижению качества жизни пациентов. Современные подходы к реабилитации указанных пациентов включают использование инновационных технологий, направленных на восстановление утраченных функций и улучшение качества жизни [1].

Одним из перспективных направлений в реабилитации пациентов с такими нарушениями является использование мультимодальной биологической обратной связи (БОС) в сочетании с дополнительными методами стимуляции [2, 3]. Этот подход позволяет активировать нейропластичность мозга, стимулируя восстановление нейронных связей через использование различных сенсорных стимулов и обратной связи. Важной особенностью данного подхода является возможность комплексного воздействия на когнитивные и моторные функции, что достигается, например, за счет одновременного использования в качестве БОС визуальной, вибротактильной и транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) [4].

Методы БОС для управления ритмами мозга считаются перспективными в реабилитации пациентов с расстройствами двигательной и соматосенсорной систем различной степени тяжести: от выраженных, ассоциированных с перенесенными инсультами или черепно-мозговыми травмами, до субклинических, возникающих на фоне хронического переутомления, перенесенных инфекций, прогрессирования различных хронических заболеваний (например, артериальной гипертензии), или как ранний признак развития нейродегенеративной патологии [5]. Для восстановления моторных и сенсорных функций у таких пациентов очень важны методы целевой реабилитации моторного и сенсорного дефицита [6]. Обычные методы и подходы реабилитации требуют больших контингентов специализированного персонала и недостаточно эффективны. В этом отношении особенно перспективными становятся реабилитационные

подходы, основанные на технологиях неинвазивных интерфейсов «мозг-компьютер» (ИМК). [7–9].

Цель данной работы является разработка программно-аппаратного комплекса (ПАК) для реабилитации пациентов с легкими (субклиническими) и выраженными нарушениями когнитивных процессов и моторных функций верхних конечностей, основанного на применении мультимодальной БОС.

В статье представлены принципы работы системы и основные этапы реабилитационного процесса. Для достижения поставленной цели были обозначены следующие задачи: разработка реабилитационной парадигмы и контуров обратной связи для реализации БОС; разработка эффективного алгоритма классификации акта воображения в режиме реального времени по данным ЭЭГ; экспериментальная апробация разработанного алгоритма.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве базовой парадигмы реализации системы БОС была выбрана концепция «воображаемых движений» (ВД) [10], которая основана на представлении пациентом движения одной из целевых конечностей. Парадигма ВД включает в себя когнитивный процесс, при котором человек мысленно имитирует выполнение моторного действия, фактически не выполняя его. Эта парадигма широко используется в неврологии для изучения нейронных механизмов, регулирующих двигательный контроль и обучение. Кроме того, он находит применение в нейрореабилитации для помощи в восстановлении двигательных функций у людей с неврологическими расстройствами или травмами [11].

Одной из основных задач в рамках данной парадигмы является распознавание и классификация моментов воображения движения по данным электроэнцефалографии (ЭЭГ) [12,13]. Для реализации БОС и своевременного формирования обратной связи распознавание должно проводиться в режиме реального времени. Это в свою очередь усложняет процесс проектирования алгоритмов классификации, предъявляя к ним высокие требования по быстродействию. На сегодняшний день большинство алгоритмов классификации в исследованиях ИМК для

сигналов ЭЭГ делятся на три основные категории [14, 15]: методы на основе «сырых» данных; алгоритмы, использующие ковариационные матрицы (рассматриваемые как элементы многообразия Римана); подходы на основе методов глубокого машинного обучения.

Недавнее исследование в рамках проекта «Mother of all BCI Benchmarks» (MOABB — инструмент для комплексного сравнительного анализа популярных алгоритмов ИМК) продемонстрировало, что традиционные методы и методы на основе геометрии Римана показали более высокую точность и эффективность в задачах бинарной классификации воображаемых движений верхних и нижних конечностей, чем методы на основе моделей глубокого машинного обучения [16]. Учитывая вышеприведенное исследование, в рамках данной работы был отобран ряд современных и эффективных алгоритмов для сравнения и возможного дальнейшего использования в рамках ПАК для реабилитации. Кратко рассмотрим каждый из них.

Пространственный фильтр (CSP — Common Spatial Pattern) — это метод, который применяет пространственный фильтр к многоканальным данным ЭЭГ для повышения дисперсии сигнала одного класса и снижения ее для другого в пределах той же области. Этот процесс приводит к появлению новых признаков (компонент), которые являются линейными комбинациями исходных каналов. Цель пространственного фильтра — найти набор пространственных весов, которые максимально различают дисперсию сигналов двух классов для данных ЭЭГ [17]. После применения CSP к сигналам ЭЭГ выделенные признаки подаются на вход классификатора LDA (Linear Discriminant Analysis).

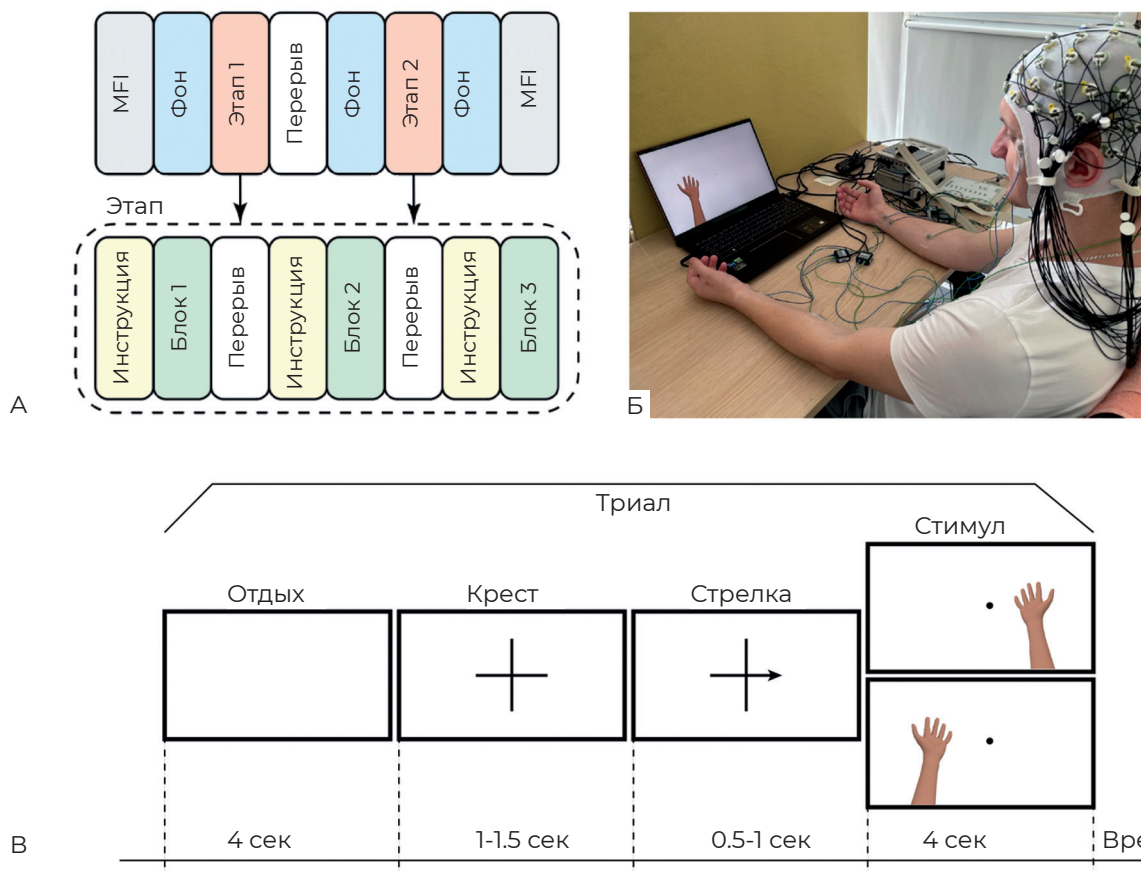
Дополненная ковариация (ACM — Augmented Covariance Matrix) — это метод, использующий дополненную ковариационную матрицу для улучшения качества признаков, извлекаемых из ЭЭГ данных. ACM интегрирует как пространственные, так и временные характеристики данных ЭЭГ с использованием авторегрессионных моделей. ACM формируется с использованием уравнений Юла-Уокера, в результате чего получается симметричная положительно определенная матрица, которая сочетает пространственную ковариацию с временной динамикой сигнала [18]. Затем к полученной дополненной

ковариационной матрице применяется метод касательных Tangent Space (TS). TS — это метод, используемый для работы с данными, представленными в виде симметричных положительно определенных (SPD) матриц, например, ковариационные матрицы ЭЭГ сигналов. Основная идея заключается в проецировании данных из риманова многообразия в линейное касательное пространство, что позволяет применять традиционные методы машинного обучения. В данной работе для классификации был использован метод опорных векторов SVM (Support Vector Machines).

Для апробации и выбора оптимального алгоритма классификации биофизической активности, связанной с воображением движения верхних конечностей, было разработано нейрофизиологическое экспериментальное исследование, направленное на регистрацию электрической активности головного мозга в процессе воображения и выполнения движений. Общая структура и дизайн эксперимента представлена на рисунке 1.

Перед началом эксперимента с испытуемым проводят детальный инструктаж с примерами заданий.

1. Эксперимент начинается с прохождения испытуемым теста для оценки уровня астении MFI-20 [19].
2. Далее следует 2-минутная запись фоновой активности, в течение которой испытуемому предлагается расслабиться и не фокусировать внимание на чём-либо.
3. Далее следует 2 идентичных этапа по 3 блока/сессии, разделенных перерывом и записью фоновой активности. Состав каждого этапа включает: инструкцию (описание сути выполнения задания); блок (структурная единица эксперимента, состоящая из набора стимульных триалов); перерыв (время для отдыха испытуемого). Состав каждого блока/сессии включает набор из 30 последовательных триалов (15 для левой и 15 для правой руки), перемешанных случайным образом. На рисунке 2В представлена общая структура одного триала
4. Далее испытуемый повторно проходит 2-минутную запись фоновой активности.
5. Завершение эксперимента сопровождается повторным прохождением теста MFI-20.



**Рисунок 1 — А) Общая структура экспериментального исследования: МФИ — субъективная шкала многомерной оценки утомляемости (MFI-20); Фон — фоновая активность для анализа ЭЭГ данных; Блок — структурная единица эксперимента, состоящая из набора стимульных триалов. Б) Внешний вид экспериментальной установки. В) Общая структура триала.**

Каждый этап включает в себя 3 блока: Блок 1 — выполнение движения с анимированным визуальным стимулом, Блок 2 — воображаемое движение с анимированным визуальным стимулом, Блок 3 — воображаемое движение со статичным визуальным стимулом. Включение в экспериментальную парадигму «Блока 1» связано с тем, что при воображении движения активируются примерно те же области мозга, что и при его выполнении, особенно в первичной моторной и премоторной коре [20].

Эксперимент проводился на 20 условно здоровых добровольцах без выраженных моторных нарушений в возрасте от 20 до 35 лет. Во время эксперимента осуществлялась регистрация ЭЭГ, а также регистрировалась мышечная активность

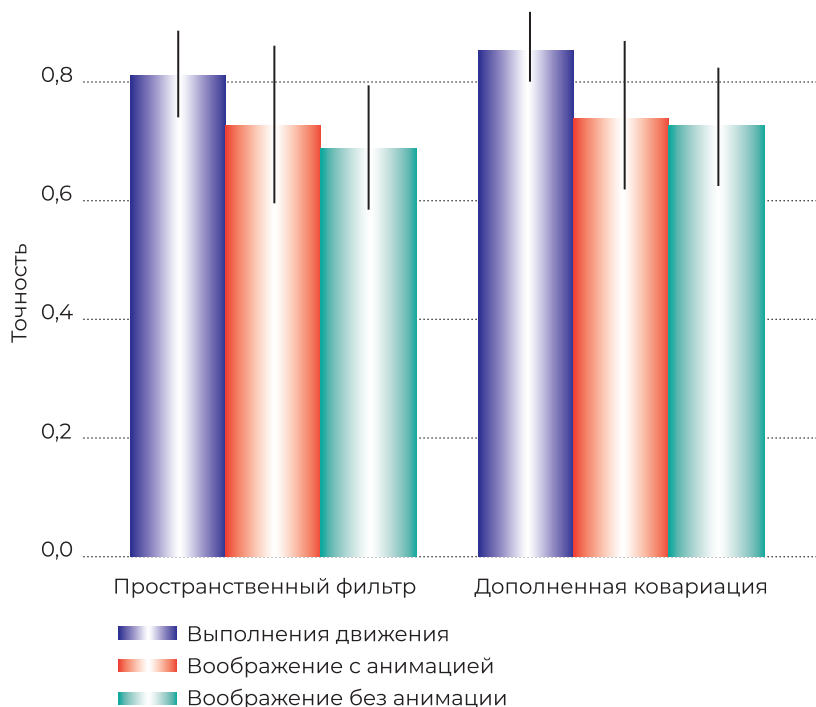
с использованием электромиограммы (ЭМГ). Для регистрации ЭЭГ и ЭМГ был использован электроэнцефалограф «actiChamp» производства Brain Products, Германия. Сигналы ЭЭГ были записаны для 63 каналов в соответствии со стандартной схемой «10–10», были использованы активные Ag/AgCl электроды «ActiCAP», которые были расположены на поверхности кожи головы в гнездах специальной шапочки «EasyCAP». Все экспериментальные данные были получены с частотой 1 кГц. Полученные ЭЭГ данные проходили предварительную обработку, включающую полосовую фильтрацию в диапазонах частот 7–32 Гц. На основе проведенного анализа литературы [14, 15] были выбраны оптимальные каналы (расположенные преимущественно над моторной корой),

которые обеспечивают максимальную точность классификации и стабильность работы системы ИМК. В результате были выбраны следующие ЭЭГ каналы (T7, F3, C3, P3, Cz, T8, F4, C4, P4) с референтом Fz. Для точной маркировки триалов «Блока 1» данные ЭЭГ предварительно были отфильтрованы полосовым фильтром в диапазоне 1–100 Гц. После чего были посчитаны моменты активации движений рук с использованием алгоритма Silva [21]. После предварительной обработки экспериментальные данные были сегментированы на эпохи длительностью 0,5 с для последующего анализа и классификации.

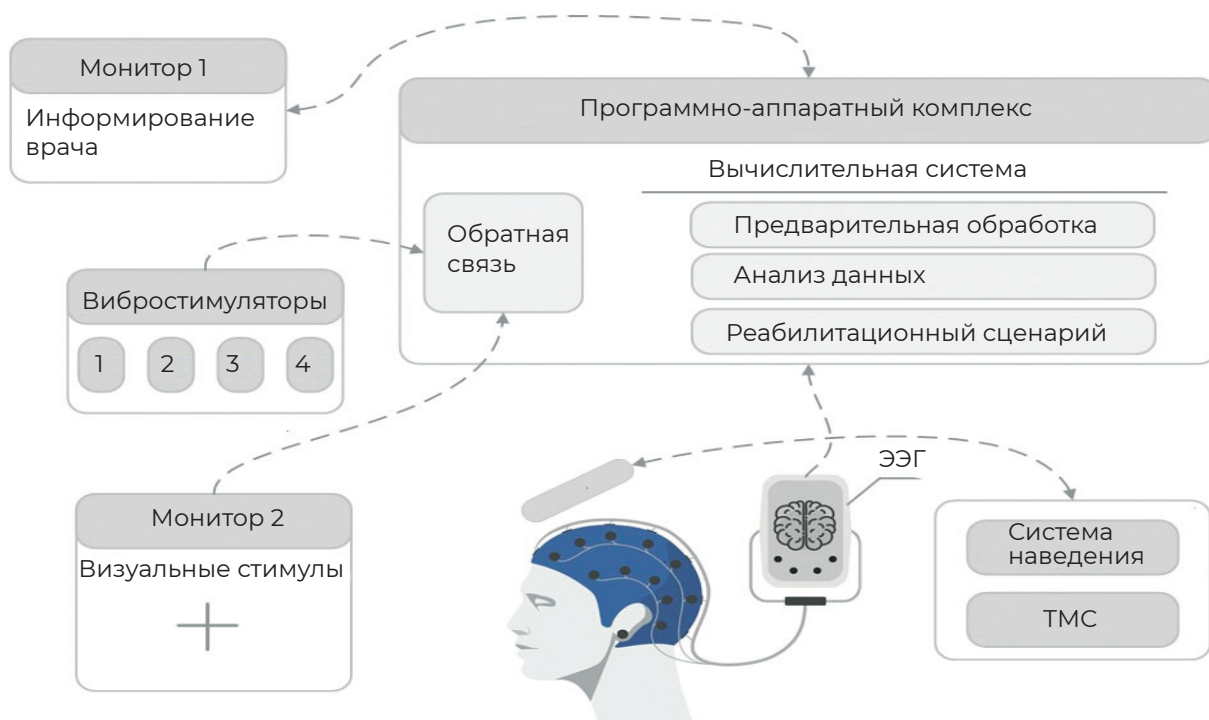
## РЕЗУЛЬТАТЫ

Одной из основных проблем ИМК-систем является высокая вариабельность данных ЭЭГ между различными субъектами. Эта вариабельность обусловлена индивидуальными особенностями пациента и его психологическим состоянием. Для оценки эффективности алгоритмов в

данной работе тестирование и обучение проводилось отдельно для каждого субъекта с 10-кратной кросс-валидацией. Для приближения к реальному использованию данные для тренировки и тестирования были разделены в соотношении 20/80 соответственно. Такой подход позволяет проверить эффективность алгоритма классификации для сценария с предварительной короткой тренировочной сессией. Также важным аспектом тестирования моделей является то, как выбираются гиперпараметры. Они могут значительно повлиять на производительность алгоритма и, следовательно, на точность прогнозов системы. В данной работе для подбора гиперпараметров был использован алгоритм Grid Search, а для снижения риска переобучения была использована вложенная 3-кратная кросс-валидация [22]. На рисунке 2 представлена диаграмма, которая показывает, как точность зависит от типа выполнения движения (блока) и от используемого алгоритма классификации.



**Рисунок 2 — Зависимость точности классификации от используемого метода и типа движения/блока, где: Пространственный фильтр — алгоритм на основе методов Common Spatial Patter (CSP) и Linear Discriminant Analysis (LDA); Дополненная ковариация — алгоритм на основе методов Augmented Covariance Matrix (ACM), Tangent Space (TS) и Support Vector Machines (SVM).**



**Рисунок 3 — Функциональная схема программно-аппаратного комплекса.**

Учитывая полученные результаты, в качестве базового алгоритма для классификации вообразаемых движений был выбран алгоритм дополненной ковариации с использованием методов АСМ, TS, SVM. Исходя из проведенного исследования, анализа научной литературы [23], в рамках данной работы был разработан ПАК для реабилитации пациентов с когнитивными и моторными нарушениями различной природы и степени тяжести на основе мультимодальной БОС, функциональная схема которого представлена на рисунке 3.

Устройство (ПАК) производит регистрацию ЭЭГ с поверхности коры головного мозга пациента, затем данные передаются в блок предварительной обработки и анализа, где происходит фильтрация. После предварительной обработки данные передаются в блок классификации, где выбранная ранее модель определяет факт воображения движения. После чего сигнал подается в основной блок реабилитационного сценария, направленного на восстановление когнитивных или моторных нарушений.

Стоит отметить, что в дополнение к классической визуальной обратной связи в систему был добавлен контур «вибростимуляции». Вибростимулятор — устройство, установленное на целевую конечность пациента. Вибростимуляция оказывает непосредственное воздействие на рецепторы кожи, что способствует активации сенсомоторных областей мозга и улучшению нейропластичности. Этот метод позволяет пациентам получать тактильную обратную связь в ответ на свои действия в режиме реального времени, что способствует улучшению их моторных функций и повышению эффективности реабилитации. Кроме того, в качестве дополнительного контура обратной связи была выбрана ТМС стимуляция. ТМС представляет собой неинвазивный метод стимуляции мозга, который использует магнитные импульсы для активации или ингибирования определенных областей мозга. В ПАК ТМС предложено использовать для модуляции активности моторной коры, что способствует восстановлению моторных функций у пациентов с двигательными нарушениями.

В частности, ТМС позволяет целенаправленно возбуждать дорсолатеральную префронтальную кору, что сказывается на скорости выполнения движений, улучшая эффективность моторного воображения [24].

Интеграция этих методов в систему ИМК позволяет создать комплексную и эффективную платформу для реабилитации, обеспечивая пациентам многоканальную обратную связь и способствуя ускорению процессов восстановления когнитивных и моторных функций.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В работе представлены результаты разработки ПАК для реабилитации пациентов с когнитивными и моторными нарушениями. Его главной особенностью стало использование мультимодального контура БОС в сочетании с ТМС стимуляцией. Согласно литературным источникам [14, 15], такой подход позволяет достигать значительных улучшений в восстановлении моторных и когнитивных функций у пациентов с различной степенью нарушений. Разработанный ПАК обладает высокой универсальностью и модульностью, что позволяет ему выполнять реабилитацию пациентов как с моторными нарушениями, так и с когнитивными нарушениями в зависимости от конкретного сценария использования. Для пациентов с моторными нарушениями использование ПАК позволяет стимулировать нейропластичность, активируя большее число нейронных путей за счет использования мультисенсорной тренировки, стимуляции и БОС. В тоже время, для пациентов с когнитивными нарушениями ПАК позволяет тренировать тормозные процессы в мозге, благодаря внутреннему подавлению лишней сенсорной информации при воображении, например, вибрации на нецелевой конечности.

Одним из базовых элементов разработанного ПАК является алгоритм распознавания двигательных образов, основанный на машинном обучении. Поэтому одним из центральных вопросов работы стала разработка метода классификации и его апробация. В работе были отобраны и протестированы два современных

алгоритма на основе пространственного фильтра и дополненной ковариации. Оба алгоритма показали точность при работе в реальном времени: более 70% при воображении движений и более 80% при их выполнении, что находится на уровне лучших результатов в этой области [25, 26].

Согласно приведённым результатам, разработанный алгоритм классификации воображаемых движений демонстрирует высокую точность для устройств ИМК. Для полноценной оценки точности и анализа устойчивости и эффективности алгоритма относительно вариативности данных пациентов планируется проведение дальнейших исследований и клинических испытаний ПАК.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенной работы был разработан ПАК для реабилитации пациентов с легкими (субклиническими) и выраженными нарушениями когнитивных процессов и моторных функций верхних конечностей, основанный на применении мультимодальной БОС, включая визуальную, вибротактильную и ТМС стимуляцию. Также был разработан и проведен нейрофизиологический эксперимент, позволяющий апробировать используемые методы классификации состояний воображения по данным ЭЭГ. Модульное устройство разработанного ПАК позволяет использовать различные виды регистрирующего оборудования и оборудования, способного реализовать различные контуры БОС, что увеличивает универсальность и доступность технологии.

**Конфликт интересов.** Конфликт интересов отсутствует.

**Источники финансирования.** Работа выполнена при поддержке Минздрава России в рамках научного проекта «Разработка программно-аппаратного комплекса для реабилитации пациентов с когнитивными и моторными нарушениями различной природы на основе мультимодальной биологической обратной связи» № 123020600127-4 (2023–2025 гг.).

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Khorev V, Kurkin S, Badarin A, et al. Review on the use of brain computer interface rehabilitation methods for treating mental and neurological conditions. *J Integr Neurosci*. 2024; 23(7): 125. doi: 10.31083/j.jin2307125.

2. Wang Z, Cao C, Chen L, et al. Multimodal neural response and effect assessment during a BCI-based neurofeedback training after stroke. *Frontiers in Neuroscience*. 2022; 16: 884420. doi: 10.3389/fnins.2022.884420.
3. Котов С. В., Исакова Е. В., Слюнькова Е. В. Применение технологии нейроинтерфейс «мозг-компьютер»+ экзоскелет в составе комплексной мультимодальной стимуляции при реабилитации пациентов с инсультом // Журнал неврологии и психиатрии им. СС Корсакова. — 2019. — Т.119. — №12-2. — С.37-42. [Kotov SV, Isakova EV, Slyun'kova EV. Usage of brain-computer interface+ exoskeleton technology as a part of complex multimodal stimulation in the rehabilitation of patients with stroke. *Zhurnal Nevrologii i Psikhiiatrii imeni SS Korsakova*. 2019; 119(12-2): 37-42. (In Russ.)] doi: 10.17116/jnevro201911912237.
4. Grigorev NA, Savosenkov AO, Lukoyanov MV, et al. A BCI-Based Vibrotactile Neurofeedback Training Improves Motor Cortical Excitability During Motor Imagery. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2021; 29: 1583-1592. doi: 10.1109/TNSRE.2021.3102304.
5. Go AS, Mozaffarian D, Roger VL. Heart disease and stroke statistics-2014 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*. 2014; 129(3): 28-292. doi: 10.1161/01.cir.0000441139.02102.80.
6. Cifu DX, Stewart DG. Factors affecting functional outcome after stroke: a critical review of rehabilitation interventions. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999; 80(5): 35-39. doi: 10.1016/S0003-9993(99)90101-6.
7. Hramov AE, Maksimenko VA, Pisarchik AN. Physical principles of brain-computer interfaces and their applications for rehabilitation, robotics and control of human brain states. *Physics Reports*. 2021; 918: 1-133. doi: 10.1016/j.physrep.2021.03.002.
8. Bamdad M, Homayoon Z, Mohammad AA. Application of BCI systems in neurorehabilitation: a scoping review. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2015; 10(5): 355-364. doi: 10.3109/17483107.2014.961569.
9. Zhuang M, Wu Q, Wan F, et al. State-of-the-art non-invasive brain-computer interface for neural rehabilitation: A review. *Journal of Neurorestoratology*. 2020; 8(1): 12-25. doi: 10.26599/JNR.2020.9040001.
10. Kho AY, Liu KPY, Chung RCK. Meta- analysis on the effect of mental imagery on motor recovery of the hemiplegic upper extremity function. *Aust Occup Ther J*. 2014; 61(2): 38-48. doi: 10.1111/1440-1630.12084.
11. Jochumsen M, Khan Niazi I, Samran Navid M, et al. Online multi-class brain-computer interface for detection and classification of lower limb movement intentions and kinetics for stroke rehabilitation. *Brain-Computer Interfaces*. 2015; 2(4): 202-210. doi: 10.1080/2326263X.2015.1114978.
12. Kardam VS, Taran S, Pandey A. Motor imagery tasks based electroencephalogram signals classification using data-driven features. *Neuroscience Informatics*. 2023; 3(2): 100128. doi: 10.1016/j.neuri.2023.100128.

13. Chholak P, Niso G, Maksimenko VA, et al. Visual and kinesthetic modes affect motor imagery classification in untrained subjects. *Sci Rep.* 2019; 9(1): 9838. doi: 10.1038/s41598-019-46310-9.
14. Vavoulis A, Figueiredo P, Vourvopoulos A. A review of online classification performance in motor imagery-based brain-computer interfaces for stroke neurorehabilitation. *Signals.* 2023; 4(1): 73-86. doi: 10.3390/signals4010004.
15. Chevallier S, Carrara I, Aristimunha B, et al. The largest EEG-based BCI reproducibility study for open science: the MOABB benchmark. *ArXiv preprint arXiv: 2404.15319.* 2024. doi: 10.48550/arXiv.2404.15319.
16. Jayaram V, Barachant A. MOABB: trustworthy algorithm benchmarking for BCIs. *Journal of neural engineering.* 2018; 15(6): 066011. doi: 10.1088/1741-2552/aadea0.
17. Blankertz B, Tomioka R, Lemm S, et al. Optimizing spatial filters for robust EEG single-trial analysis. *IEEE Signal processing magazine.* 2007; 25(1): 41-56. doi: 10.1109/MSP.2008.4408441.
18. Carrara I, Papadopoulou T. Classification of BCI-EEG Based on the Augmented Covariance Matrix. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2024. doi: 10.1109/TBME.2024.3386219.
19. Smets EMA, Garssen B, Cull A, et al. Application of the multidimensional fatigue inventory (MFI-20) in cancer patients receiving radiotherapy. *Br J Cancer.* 1996; 73(2): 241-245. doi: 10.1038/bjc.1996.42.
20. Kumawat J, Yadav A, Yadav K, et al. Comparison of Spectral Analysis of Gamma Band Activity During Actual and Imagined Movements as a Cognitive Tool. *Clin EEG Neurosci.* 2024; 55(3): 340-346. doi: 10.1177/15500594231197100.
21. Silva H, Scherer R, Sousa J, et al. Towards improving the stability of electromyographic interfaces. *J Neuroeng Rehabil.* 2012; 1-2. doi: 10.1007/978-3-642-34546-3\_71.
22. Cawley GC, Talbot NL. On over-fitting in model selection and subsequent selection bias in performance evaluation. *The Journal of Machine Learning Research.* 2010; 11(70): 2079-2107.
23. Lukoyanov MV, Gordleeva SY, Pimashkin AS, et al. The efficiency of the brain-computer interfaces based on motor imagery with tactile and visual feedback. *Human Physiology.* 2018; 44: 280-288. doi: 10.1134/S0362119718030088.
24. Kurkin S, Gordleeva S, Savosenkov A, et al. Transcranial Magnetic Stimulation of the Dorsolateral Prefrontal Cortex Increases Posterior Theta Rhythm and Reduces Latency of Motor Imagery. *Sensors.* 2023; 23(10): 4661. doi: 10.3390/s23104661.
25. Maksimenko VA, Kurkin SA, Pitsik EN, et al. Artificial Neural Network Classification of Motor- Related EEG: An Increase in Classification Accuracy by Reducing Signal Complexity. *Complexity.* 2018; 1: 9385947. doi: 10.1155/2018/9385947.
26. Al-Saegh A, Dawwd SA, Abdul-Jabbar JM. Deep learning for motor imagery EEG-based classification: A review. *Biomedical Signal Processing and Control.* 2021; 63: 102172. doi: 10.1016/j.bspc.2020.102172.



**АНДРЕЙЧЕНКО А.Е.,**

к.ф.-м.н., ООО «К-СКАЙ», г. Петрозаводск, Россия, e-mail: aandreychenko@webiomed.ru

**КАФТАНОВ А.Н.,**

к.м.н., ООО «К-СКАЙ», г. Петрозаводск, Россия, e-mail: akaftanov@webiomed.ru

**ГУСЕВ А.В.,**

к.т.н., ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Минздрава России, г. Москва, Россия, e-mail: agusev@webiomed.ai

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ МЕДИЦИНСКИХ КАРТ

DOI: 10.25881/18110193\_2024\_4\_48

**Аннотация.** Ключевой функциональной возможностью медицинских информационных систем медицинских организаций является ведение электронных медицинских карт (ЭМК), которые играют неотъемлемую роль в современной практике здравоохранения, позволяя медицинским организациям последовательно собирать, систематизировать и предоставлять медицинским работникам доступ к информации о диагностике и лечении пациентов. Несмотря на наличие большого объема накопленных ЭМК и давнюю историю их разработки и развития, современные ЭМК имеют довольно низкое качество собираемой в них клинической информации. В настоящий момент нет рекомендуемого подхода к оценке качества данных ЭМК.

**Цель.** Разработать методику оценки качества данных, содержащихся в ЭМК.

**Материалы и методы.** Были собраны и систематизированы требования к процедуре оценки качества данных ЭМК и расчета индекса качества по итогам такой процедуры. На основе требований была сформирована методика оценки качества данных, для каждого из этапов методики проработаны подходы ее практической реализации и приведены конкретные примеры расчетов критериев качества для самых распространенных базовых элементов ЭМК.

**Результаты.** В работе представлена методика оценки качества данных ЭМК, а также алгоритм расчета итоговых индексов качества на основе данных платформы Webiomed. Методика позволяет получить не только интегральную оценку качества, но и ее составляющие, оценивающие разные параметры качества данных, а также детализировать оценку качества по разным элементам ЭМК.

**Заключение.** Разработанная методика позволяет оценить базовые элементы ЭМК. Также предлагаемая методика предоставляет подход и алгоритм расширения на любые дополнительные элементы ЭМК.

**Ключевые слова:** методика, электронная медицинская карта, ЭМК, качество данных, оценка качества данных.

**Для цитирования:** Андрейченко А.Е., Кафтанов А.Н., Гусев А.В. Методика оценки качества данных электронных медицинских карт. Врач и информационные технологии. 2024; 4: 48-59. doi: 10.25881/18110193\_2024\_4\_48.

**ANDREYCHENKO A.E.,**

PhD, K-Skai, Petrozavodsk, Russia, e-mail: aandreychenko@webiomed.ru

**KAFTANOV A.N.,**

PhD, K-Skai, Petrozavodsk, Russia, e-mail: akaftanov@webiomed.ru

**GUSEV A.V.,**

PhD, Federal Research Institute for Health Organization and Informatics, Moscow, Russia,  
e-mail: agusev@webiomed.ai

## METHODOLOGY FOR ASSESSING THE QUALITY OF ELECTRONIC MEDICAL RECORDS DATA

DOI: 10.25881/18110193\_2024\_4\_48

**Abstract.** *Background.* The key functionality of the medical information system (MIS) is the maintenance of electronic medical records (EMR), which play an integral role in modern healthcare practice, allowing medical organizations to consistently collect, systematize and provide medical professionals with access to information on the diagnosis and treatment of patients. Despite the existence of a large volume of accumulated EMRs and a long history of their design and development, modern EMRs have a rather low quality of clinical information collected in them. Currently, there is no recommended approach to assessing the quality of EMR data.

*Objective.* To develop a methodology for assessing the quality of data contained in EMRs.

*Materials and methods.* Requirements for the procedure of EMR data quality assessment and calculation of the quality index based on the results of such procedure were collected and systematized. Based on the requirements, a methodology for data quality assessment was formed, approaches to its practical implementation were worked out for each stage of the methodology and specific examples of quality criteria calculations for the most common basic elements of EMC were given.

*Results.* The paper presents a methodology for assessing the quality of EMR data, as well as an algorithm for calculating the final quality indices based on the Webiomed platform data. The methodology allows us to obtain not only an integral quality assessment, but also its components assessing different data quality parameters, as well as to detail the quality assessment for different EHRs elements.

*Conclusion.* The developed methodology allows to evaluate the basic elements of the EHRs. The proposed methodology also provides an approach and an algorithm for extending to any additional element of the EHRs.

**Keywords:** methodology, electronic health record, EHR, data quality, data quality assessment.

**For citation:** Andreychenko A.E., Kaftanov A.N., Gusev A.V. Methodology for assessing the quality of electronic medical records data. Medical doctor and information technology. 2024; 4: 48-59. doi: 10.25881/18110193\_2024\_4\_48.

## ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени в России осуществлено полномасштабное внедрение медицинских информационных систем (МИС) медицинских организаций (МО). Свыше 90% государственных МО используют различные МИС [1].

Ключевой функциональной возможностью МИС МО является ведение электронных медицинских карт (ЭМК), которые играют неотъемлемую роль в современной практике здравоохранения, позволяя МО последовательно собирать, систематизировать и предоставлять медицинским работникам доступ к информации о диагностике и лечении пациентов. Ведение медицинскими работниками ЭМК привело к накоплению огромных объемов оцифрованных медицинских данных, которые являются оцифрованным артефактом реальной клинической практики и обладают большим потенциалом для цифровой трансформации отрасли, в том числе внедрения систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР), управления на основе данных, исследований реальной клинической практики (RWD) и т.д.

Несмотря на наличие большого объема накопленных ЭМК и давнюю историю их разработки и развития, современные ЭМК имеют довольно низкое качество собираемой в них клинической информации [2]. В литературе есть работы по количественной оценке качества данных ЭМК, однако они не дают полноценного руководства для практического применения, либо требуют расчета очень большого количества метрик качества [3–5]. Так в работе Jiayin Z. et al. (2024) авторы предлагают использование 33 метрик, при этом не дают руководства по их расчету [5]. В этой связи необходимо создание единой, простой в применении и интерпретируемой методики оценки качества данных ЭМК и расчета «Индекса качества ЭМК», что и явилось целью данного исследования.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Разработка методики оценки качества данных ЭМК и расчета соответствующего «Индекса качества ЭМК» выполнялась в несколько этапов. На первом этапе были сформулированы базовые функциональные требования, в том числе путем анализа запросов пользователей платформы Webiomed. На втором этапе на основе

данных литературы было проведено исследование с целью определения основных критериев, по которым необходимо оценивать содержимое ЭМК. Для поиска релевантных источников информации были использованы 4 электронные библиографические базы данных: PubMed, Web of Science, Scopus и РИНЦ. В поисковом запросе применялись строки «Data quality assessment of Electronic health records» и «Оценка качества данных электронных медицинских карт». Период поиска: все публикации до 01.03.2024. Было обнаружено 37 публикаций. После анализа названий и резюме для пристального изучения отобрано 5 публикаций по тематике методики оценки качества данных ЭМК. На третьем этапе была проведена разработка алгоритма расчета критериев и итогового Индекса качества ЭМК, удовлетворяющего базовым функциональным требованиям, сформулированным на первом этапе. Наконец, была разработана практическая реализация методики оценки качества данных для базовых универсальных элементов ЭМК.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Сформулированы следующие базовые функциональные требования к Индексу качества ЭМК, рассчитываемому с помощью разрабатываемой методики:

1. Индекс качества ЭМК должен быть количественным.
2. Значения индекса должны находиться в диапазоне 0–100.
3. В первую очередь качество ЭМК должно быть оценено с точки зрения ее пригодности для использования в СППВР, в этой связи необходимо оценить клиническую информацию, содержащуюся в записях ЭМК, в том числе с учетом наличия минимально необходимых для работы СППВР данных.
4. В алгоритме расчета индекса необходимо учесть полноту заполнения социальных данных (пол, дата рождения, прикрепление, участок/МО прикрепления, район проживания).
5. В алгоритме расчета индекса необходимо предусмотреть корректный учет открытых случаев лечения, которые при их открытии могут быть мало заполнены, но затем могут быть полностью заполнены на момент закрытия случая.

6. Необходимо отслеживание динамики индекса качества ЭМК для случаев лечения от их открытия до закрытия.
7. Необходимо предусмотреть проверку на присутствие шаблонных неинформативных текстов в документах ЭМК.

По результатам исследования литературы была выявлена следующая вариативность подходов к выбору критериев при оценке качества данных ЭМК. В 2013 году Weiskopf предложил следующие параметры качества данных ЭМК [6]:

1. Корректность: правдивость данных в ЭМК;
2. Согласованность: соответствие между элементами внутри ЭМК и между ЭМК и другими источниками данных;
3. Правдоподобность: степень, в которой данные ЭМК имеют смысл в широком медицинском контексте;
4. Актуальность: точность данных ЭМК в тот период времени, когда они были записаны, и насколько актуальны сейчас эти данные.

В 2016 году Kahn была проведена

гармонизация параметров и выделены 3 параметра [7]:

1. Согласованность;
2. Полнота;
3. Правдоподобность.

Проанализировав эти и другие научные данные и рекомендации, нами была предложена собственная методика оценки качества ЭМК, включающая учет следующих критериев:

- Полнота: наличие и заполненность обязательных элементов ЭМК;
- Корректность: допустимость формата и значений данных, содержащихся в ЭМК;
- Правдоподобность: соответствие значений элементов и временных рамок их получения в медицинской практике и контексту.

Более подробно результаты нашего исследования подходов к выбору критериев оценки качества данных ЭМК представлены в обзоре [8].

Выбранные критерии качества данных ЭМК для включения в методику оценки представлены в Таблице 1 вместе с методом их расчета.

**Таблица 1 — Критерии качества данных ЭМК и методы их оценки**

ID	Критерий качества ЭМК	Метод оценки
<b>A</b>	<b>Полнота: наличие и заполненность обязательных элементов ЭМК</b>	
A1	Наличие элемента	Проверка наличия и заполненности (не пустое) в ЭМК следующих элементов:
A2	Заполненность элемента	1. Социально-демографические данные (пол, возраст и т.д.) 2. Минимально-необходимые клинические и антропометрические данные (АД, рост, вес и т.д.) 3. Наличие данных о случаях обращения за медицинской помощью (законченные случаи, истории болезни и т.д.) 4. Наличие минимально-необходимых медицинских записей (врачебный осмотр, протокол инструментального обследования и т.д.)*
<b>B</b>	<b>Корректность: допустимость значений признаков и элементов, содержащихся в ЭМК</b>	
B1	Корректность элементов ЭМК	Проверка корректности полей в случаях, корректность полей в структурированных электронных медицинских документах.**
B2	Корректность значений признаков	Проверка на количество ошибочных признаков, выявленных после формата-логического контроля (ФЛК)
<b>C</b>	<b>Правдоподобность: соответствие значений признаков и значений элементов временным рамкам их получения в медицинской практике и контексту</b>	
C1	Значение (вне времени)	Логический контроль на основе установленных правил (например, постоянство роста у взрослых, гендерные признаки, показатели, заболевания)***
C2	Актуальность (соответствие временных рамок)	Логический контроль на основе установленных правил (например, дата открытия случая раньше даты закрытия случая)***

Примечание: \* — перечень элементов ЭМК приведен в Таблице 2. \*\* — некоторые правила проверки корректности элементов приведены в Таблице 3. \*\*\* — перечень правил проверки значений и актуальности приведен в Таблице 4.

Для определения критерия «Полнота: наличие и заполненность обязательных элементов ЭМК» необходимо, чтобы платформа либо МИС принимала, поддерживала и хранила следующие элементы, представленные в таблице 2.

Для определения критерия «Корректность заполнения элементов ЭМК» необходимо разработать следующие опорные словари:

1. Допустимые форматы данных для каждого элемента ЭМК.

2. Пополняемый словарь шаблонных текстов.

В случае заполненности данного элемента ЭМК происходит двухэтапная проверка на соответствие формата данных, хранимых в элементе ЭМК, затем на отсутствие шаблонного текста. Проверка на отсутствие шаблонного текста заканчивается положительным результатом только в случае если текст элемента и шаблонного текста на 100% совпадают.

Итоговый результат проверки корректности заполнения элементов ЭМК является

**Таблица 2 — Перечень базовых элементов ЭМК**

№	Элемент	Описание
	Социально-демографические данные	В ЭМК должны быть заполнены следующие поля: 1. ФИО или хеш ФИО (закодированное или зашифрованное значение поля) 2. СНИЛС или хеш СНИЛСа 3. Данные о страховом полисе или хеш этих данных 4. Пол 5. Дата рождения 6. Регион проживания (прикрепления) 7. МО прикрепления
	Минимально-необходимые клинические, антропометрические и анамнестические данные	В ЭМК должны быть внесены следующие данные: 1. АД 2. Рост 3. Вес 4. ЧСС 5. Общий холестерин 6. Глюкоза 7. Лист окончательных диагнозов (должна быть хотя бы 1 запись) 8. Пол 9. Частота дыхания 10. Табакокурение 11. Креатинин 12. Гемоглобин 13. Температура
	Данные о случаях обращения за медицинской помощью	В ЭМК пациента должна содержаться хотя бы 1 запись о случае обращения пациента в МО, включая законченный случай, или история болезни, или случай обращения с профилактическими целями (карта диспансеризации, лист вакцинаций и т.д.).
	Минимально-необходимые медицинские записи	В ЭМК пациента должны содержаться хотя бы по 1 экземпляру следующие документы: 1. Протокол инструментального исследования, в котором заполнено «Заключение» 2. Протокол лабораторного исследования, в котором есть хотя бы 1 заполненный параметр (тест) 3. Протокол врачебного осмотра, в котором заполнены поля «Жалобы», «Объективные данные» и указан код окончательного клинического диагноза

Таблица 3 — Некоторые правила оценки корректности заполнения элементов ЭМК

№	Элемент	Поле	Допустимые форматы	Шаблонные тексты
1	Социально-демографические данные	ФИО или хеш ФИО (закодированное или зашифрованное значение поля)	*	N/A
		СНИЛС или хеш СНИЛСа	*	N/A
		Данные о страховом полисе или хеш этих данных	*	N/A
		Пол	*	N/A
		Дата рождения	*	N/A
		Регион проживания (прикрепления)	*	
		МО прикрепления	*	
2	Минимально-необходимые клинические, антропометрические и анамнестические данные	АД	*	N/A
		Рост	*	N/A
		Вес	*	N/A
		ЧСС	*	N/A
		Общий холестерин	*	N/A
		Глюкоза	*	N/A
		Лист окончательных диагнозов	Диагноз соответствует коду МКБ-10 и имеет дату регистрации	N/A
		Частота дыхания		N/A
		Табакокурение		N/A
		Креатинин		N/A
3	Данные о случаях обращения за медицинской помощью	Гемоглобин		N/A
		Температура		N/A
4	Минимально-необходимые медицинские записи	В ЭМК пациента должна содержаться хотя бы 1 запись о случае обращения пациента в МО, включая законченный случай, или история болезни, или случай обращения с профилактическими целями (карта диспансеризации, лист вакцинаций и т.д.). Не учитываются «Разовые посещения» – это не реальный случай обращения, а искусственный компонент цифрового профиля пациента в Webiomed.	Перечень обязательных полей случая и допустимые форматы их наполнения	Проверка на шаблонность и неинформативность случаев лечения
		Протокол инструментального исследования, в котором заполнено «Заключение»	*	Список шаблонных заключений
		Протокол лабораторного исследования, в котором есть хотя бы 1 заполненный параметр (тест)	*	N/A
		Протокол врачебного осмотра, в котором заполнены поля «Жалобы», «Объективные данные» и указан код окончательного клинического диагноза	*	Список шаблонных текстов «Жалоб», «Объективные данные»

Примечание: \* — на основе словаря допустимых форматов полей. N/A — неприменимо к данному полю элемента.

положительным (проверка пройдена), если первый этап выявил соответствие формата, а проверка шаблонности дала отрицательный результат.

Для определения критерия «Правдоподобность значений признаков» необходимо сформулировать правила для недопустимых значений признаков.

Правила делятся на две категории:

1. Статичные правила определяют рамки возможных изменений значений полей элементов и признаков без привязки к дате, событию (например, постоянство роста, веса в допустимых пределах, группы крови и т.п.).
2. Временные правила определяют рамки возможных изменений значений полей элементов и признаков с привязкой к дате, событию, документу. Например, на дату записи в ЭМК у пациента не может быть определенных диагнозов, значений показателей.

Некоторые примеры правил приведены в Таблице 4.

В алгоритме расчета индекса качества данных ЭМК реализована следующая последовательность вычислений:

1. Для каждого элемента ЭМК оценивается каждый критерий качества с помощью методов, указанных в Таблице 1. Оценка происходит по логическому принципу, т.е. присваивается 0, если элемент не проходит проверку, и 1, если элемент успешно проходит проверку.
2. Для всех объектов ЭМК определяются критерии A1, A2, B1, B2, C1, C2, исходя из качества каждого элемента объекта.
3. Параметры качества А-С для ЭМК в целом рассчитываются путем усреднения параметров по каждому типу объекта ЭМК, а затем суммирования с удельным весом 50% для базовых сведений и по 25% для случаев лечения и структурированных электронных медицинских документов (СЭМД), соответственно. Значения удельных весов должны быть параметризованы и могут быть скорректированы в процессе апробации данной методики оценки качества ЭМК.

Таким образом, по каждой ЭМК формируется матрица критериев качества по типам объектов (базовые сведения, случаи лечения и СЭМДы) и по всем объектам ЭМК (таблица 5).

4. Итоговый индекс качества ЭМК рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{Индекс качества ЭМК} = 0,25*(A1+A2) + 0,15*(B1+B2) + 0,1*(C1+C2).$$

Коэффициенты могут быть скорректированы при необходимости.

Соответственно, итоговый индекс будет иметь оценку от 0 до 100.

5. Интерпретация итогового значения индекса ЭМК должна быть откалибрована в процессе апробации методики. Для этого должны быть отобраны примеры ЭМК (до 100) с разными значениями индексов качества, а также детализированными параметрами A1, A2 и т.д. Затем медицинским экспертом либо несколькими экспертами будут оценены ЭМК на предмет клинической достоверности и полноты по 5-ти балльной шкале (недопустимое, низкое, удовлетворительное, хорошее, отличное качество). После этого будет проанализировано соответствие значения индекса качества ЭМК и мнения экспертов. Таким образом, будут получены диапазоны значений индексов ЭМК и им соответствующие мнения экспертов по 5-ти балльной шкале.

#### ПРИМЕР АЛГОРИТМА РАСЧЕТА

Ниже приведен практический пример расчета Индекса качества ЭМК на базе методики (Таблица 6).

Например, обязательными элементами/полями являются:

- 1) Базовые сведения в ЭМК: ФИО пациента, дата рождения пациента, ID ЭМК, дата регистрации ЭМК;
- 2) Случай: Дата открытия, дата закрытия, диагноз случая;
- 3) СЭМД: Дата документа, описание.

ЭМК, которая оценивается, имеет следующее наполнение и соответствующие параметры A1, A2 и т.д.

#### ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«Индекс качества ЭМК» показывает насколько велика ценность собранной по пациенту ЭМК с точки зрения ее пригодности для машинной обработки, включая работу моделей

Таблица 4 — Примеры правил для оценки критерия правдоподобности данных

№	Элемент	Поле	Статичные правила	Временные правила
1	Социально-демографические данные	ФИО или хеш ФИО (закодированное или зашифрованное значение поля)	не должно меняться	N/A
		СНИЛС или хеш СНИЛСа	не должно меняться	N/A
		Данные о страховом полисе или хеш этих данных	не должно меняться	*
		Пол	не должно меняться	N/A
		Дата рождения	не должно меняться	N/A
		Регион проживания (прикрепления)	N/A	*
		МО прикрепления	N/A	У пациента детского возраста не может быть прикрепления к МО для взрослых
2	Минимально-необходимые клинические, антропометрические и анамнестические данные	АД	Пределы изменения АД для пациентов старше 18 лет без сопутствующих диагнозов в листе окончательных диагнозов (ЛОД)	Пределы изменения АД для пациентов старше 18 лет с сопутствующими диагнозами в ЛОД, случае
		Рост	Пределы изменения роста для пациентов старше 18 лет	N/A
		Вес	Пределы скорости изменения веса для пациентов старше 18 лет без сопутствующих диагнозов в ЛОД	Пределы скорости изменения веса для пациентов старше 18 лет с сопутствующими диагнозами в ЛОД, случае
		ЧСС	Пределы значений для пациентов старше 18 лет без сопутствующих диагнозов в ЛОД	Пределы значений для пациентов старше 18 лет с сопутствующими диагнозами в ЛОД, случае
		Общий холестерин	Пределы значений для пациентов старше 18 лет без и с сопутствующими диагнозами в ЛОД	Пределы значений для пациентов старше 18 лет с сопутствующими диагнозами в случае
		Глюкоза	Пределы значений для пациентов старше 18 лет без и с сопутствующими диагнозами в ЛОД	Пределы значений для пациентов старше 18 лет с сопутствующими диагнозами в случае
		Лист окончательных диагнозов	Проверка на наличие невозможных диагнозов исходя из возраста, пола	N/A
		Частота дыхания	Пределы значений для пациентов старше 18 лет без и с сопутствующими диагнозами в ЛОД	Пределы значений для пациентов старше 18 лет с сопутствующими диагнозами в случае
		Табакокурение	Пределы скорости изменения признака	N/A
		Креатинин	Пределы значений для пациентов старше 18 лет без и с сопутствующими диагнозами в ЛОД	Пределы значений для пациентов старше 18 лет с сопутствующими диагнозами в случае
		Гемоглобин	Пределы значений для пациентов старше 18 лет без и с сопутствующими диагнозами в ЛОД	Пределы значений для пациентов старше 18 лет с сопутствующими диагнозами в случае
		Температура	Пределы значений для пациентов старше 18 лет без и с сопутствующими диагнозами в ЛОД	Пределы значений для пациентов старше 18 лет с сопутствующими диагнозами в случае



**Таблица 4 — Примеры правил для оценки критерия правдоподобности данных (продолжение)**

№	Элемент	Поле	Статические правила	Временные правила
3	Данные о случаях обращения за медицинской помощью	В ЭМК пациента должна содержаться хотя бы 1 запись о случае обращения пациента в МО, включая законченный случай, или история болезни, или случай обращения с профилактическими целями (карта диспансеризации, лист вакцинаций и т.д.). Не учитываются «Разовые посещения» – это не реальный случай обращения, а искусственный компонент цифрового профиля пациента в Webiomed.	N/A	N/A
4	Минимально-необходимые медицинские записи	Протокол инструментального исследования, в котором заполнено «Заключение»	N/A	N/A
		Протокол лабораторного исследования, в котором есть хотя бы 1 заполненный параметр (тест)	N/A	N/A
		Протокол врачебного осмотра, в котором заполнены поля «Жалобы», «Объективные данные» и указан код окончательного клинического диагноза	N/A	N/A

Примечание: \* — данные правила требуют уточнения.

**Таблица 5 — Расчет матрицы критериев качества для отдельных объектов ЭМК и всей ЭМК**

Объект ЭМК	Параметр качества					
	A1 [0; 100]	A2[0;100]	B1[0; 100]	B2[0; 100]	C1[0; 100]	C2[0; 100]
Базовые сведения в ЭМК (вклад 50%)	0 - отсутствие хотя бы одного обязательного элемента; 100-все обязательные элементы присутствуют	100*число непустых элементов/число всех элементов в наличии	100*число технически корректных элементов/число непустых элементов	100*число корректного значения элементов/число непустых элементов	100*число правдоподобных значений элементов/число непустых элементов	100*число правдоподобных по времени элементов/число непустых элементов
Законченный случай (ЗС, вклад 25%)						
СЭМД (вклад 25%)						
ЭМК	сумма A1 всех объектов ЭМК с удельным весом 0,5 для Базовых сведений, 0,25 ЗС (сумма всех A1 у ЗС, отнормированных на количество ЗС в данной ЭМК) и 0,25 СЭМД (сумма всех A1 у СЭМД, отнормированных на количество СЭМД в данной ЭМК)	сумма A2 всех объектов ЭМК с удельным весом 0,5 для Базовых сведений, 0,25 ЗС (сумма всех A2 у ЗС, отнормированных на количество ЗС) и 0,25 СЭМД (сумма всех A2 у СЭМД, отнормированных на количество СЭМД)	сумма B1 всех объектов ЭМК с удельным весом 0,5 для Базовых сведений, 0,25 ЗС (сумма всех B1 у ЗС, отнормированных на количество ЗС) и 0,25 СЭМД (сумма всех B1 у СЭМД, отнормированных на количество СЭМД)	сумма B2 всех объектов ЭМК с удельным весом 0,5 для Базовых сведений, 0,25 ЗС (сумма всех B2 у ЗС, отнормированных на количество ЗС) и 0,25 СЭМД (сумма всех B2 у СЭМД, отнормированных на количество СЭМД)	сумма C1 всех объектов ЭМК с удельным весом 0,5 для Базовых сведений, 0,25 ЗС (сумма всех C1 у ЗС, отнормированных на количество ЗС) и 0,25 СЭМД (сумма всех C1 у СЭМД, отнормированных на количество СЭМД)	сумма C2 всех объектов ЭМК с удельным весом 0,5 для Базовых сведений, 0,25 ЗС (сумма всех C2 у ЗС, отнормированных на количество ЗС) и 0,25 СЭМД (сумма всех C2 у СЭМД, отнормированных на количество СЭМД)

машинного обучения (прогнозирования и диагностики), а также проведения исследований и разработок в сфере реальной клинической практики и создания наборов данных для машинного обучения.

Индекс имеет оценку от 0 (красная зона — ЭМК пустая и не пригодна ни для какой машинной обработки) до 100 (зеленая зона — ЭМК

имеет все минимально необходимые сведения, пригодные для анализа). Интерпретация промежуточных значений Индекса требует отдельного исследования после его внедрения с привлечением специалистов для получения «ручной оценки» набора ЭМК и сопоставления этой оценки с Индексом качества для калибровки последнего.

Таблица 6 — Пример расчета Индекса качества ЭМК

Объект ЭМК	Элемент	Пример значения элемента	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Базовые сведения в ЭМК	ФИО пациента		0 (нет ID ЭМК)	67 (не заполнено ФИО, $100*2/3$ )	50 (формат даты рождения некорректен, $100*1/2$ )	100 ( $100*2/2$ )	50 (дата регистрации раньше даты рождения, $100*1/2$ )	100
	дата рождения	06.2005						
	дата регистрации ЭМК	01.10.2000						
Случай лечения	Дата открытия	02.03.2020	100	100	100	67 (значение диагноза не соответствует МКБ-10)	100	100
	Дата закрытия	08.03.2020						
	диагноз случая	B5						
СЭМД	дата документа	06.09.2023	100	50 (не заполнено описание)	100	100	100	100
	описание	Null						
ЭМК. ИНДЕКС КАЧЕСТВА: 72,85			50	$0,5*67+0,25*100+0,25*50=71$	75	91,75	75	100

Предлагаемая методика позволяет детализировать Индекс в матричном виде по двум направлениям: критериям оценки и видам элементов ЭМК, как представлено в Таблице 6. Такая детализация позволяет системно проанализировать причины того или иного значения Индекса качества ЭМК и разработать соответствующие меры по его повышению.

Для внедрения методики необходимо разработать соответствующие словари и перечни правил, применяемых для оценки критериев. Данные словари и правила должны учитывать специфику МО, а также технические характеристики используемой МИС, для формирования ЭМК. В дальнейшем некоторые методы и алгоритмы оценки критериев могут учитываться в режиме реального времени подсвечивая врачу, какие элементы пустые, имеют недопустимые

форматы и противоречащие значения. Однако такая реализация потребует значительных работ МИС.

В данной работе были приведены примеры только базовых элементов ЭМК, однако представленная методика может быть логически расширена на любые другие элементы с учетом пожеланий заказчиков.

Представленная методика и входящий в нее алгоритм расчета индекса не являются окончательными и могут быть модифицированы в процессе эксплуатации. Также применимость и ценность данной методики должна быть подтверждена научными исследованиями. Однако она является важным шагом для осуществления интегральной и универсальной оценки качества медицинских данных, собираемых и хранимых ЭМК.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Гусев А.В., Владимирский А.В., Голубев Н.А., Зарубина Т.В. Информатизация здравоохранения Российской Федерации: история и результаты развития // Национальное здравоохранение. — 2021. — №2(3). — С.5-17. [Gusev AV, Vladzimirskij AV, Golubev NA, Zarubina TV. Informatizaciya zdavoohraneniya Rossijskoj Federacii: istoriya i rezul'taty razvitiya. Nacional'noe zdavoohranenie. 2021; 2(3): 5-17. (In Russ.)] doi: 10.47093/2713-069X.2021.2.3.5-17.
2. Гусев А.В., Зингерман Б.В., Тюфилин Д.С., Зинченко В.В. Электронные медицинские карты как источник данных реальной клинической практики. Реальная клиническая практика: данные и доказательства. — 2022. — №2(2). — С.8-20. [Gusev AV, Zingerman BV, Tyufilin DS, Zinchenko V.V. Elektronnye medicinskie karty kak istochnik dannyh real'noj klinicheskoy praktiki. Real'naya klinicheskaya praktika: dannye i dokazatel'stva. 2022; 2(2): 8-20. (In Russ.)] doi: 10.37489/2782-3784-myrwd-13.
3. Johnson SG, Speedie S, Simon G, Kumar V, Westra BL. A Data Quality Ontology for the Secondary Use of EHR Data. AMIA Annu Symp Proc. 2015; 2015: 1937-46.
4. Johnson SG, Pruinelli L, Hoff A, Kumar V, Simon GJ, Steinbach M, Westra BL. A Framework for Visualizing Data Quality for Predictive Models and Clinical Quality Measures. AMIA Jt Summits Transl Sci Proc. 2019; 2019: 630-638.
5. Zhou J, Hao J, Tang M, Sun H, Wang J, Li J, Qian Q. Development of a quantitative index system for evaluating the quality of electronic medical records in disease risk intelligent prediction. BMC Med Inform Decis Mak. 2024; 24(1): 178. doi: 10.1186/s12911-024-02533-z.
6. Weiskopf NG, Weng C. Methods and dimensions of electronic health record data quality assessment: Enabling reuse for clinical research. Journal of the American Medical Informatics Association, 2013. 20(1): 144-151.
7. Kahn MG, et al. A Harmonized Data Quality Assessment Terminology and Framework for the Secondary Use of Electronic Health Record Data. EGEMS (Wash DC). 2016; 4(1): 1244.
8. Кафтанов А.Н., Андрейченко А.Е., Гусев А.В. Обзор методических подходов к оценке качества ведения электронных медицинских карт // Врач и информационные технологии. — 2024. — №3. — С.6-19. [Kaftanov AN, Andrejchenko AE, Gusev AV. Obzor metodicheskikh podhodov k ocenke kachestva vedeniya elektronnyh medicinskih kart. Vrach i informacionnye tekhnologii. 2024; 3: 6-19. (In Russ.)]

**ПУТИНЦЕВ А.Н.,**

к.т.н., Институт Вельтищева ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова, г. Москва, Россия,  
e-mail: pa@pedklin.ru

**НИКОЛЬСКИЙ Д.А.,**

Институт Вельтищева ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова, г. Москва, Россия,  
e-mail: nikolsky.d@pedklin.ru

**ГРИЦЕВСКАЯ Д.Ю.,**

Институт Вельтищева ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова, г. Москва, Россия,  
e-mail: dgritsevskaya@mail.ru

**КОРОЛЕНКО Е.М.,**

Институт Вельтищева ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова, г. Москва, Россия,  
e-mail: elizavetasherbinina@mail.ru

**СЕМЯЧКИНА А.Н.,**

д.м.н., Институт Вельтищева ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова, г. Москва, Россия,  
e-mail: asemyachkina@pedklin.ru

**НИКОЛАЕВА Е.А.,**

д.м.н., Институт Вельтищева ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова, г. Москва, Россия,  
e-mail: enikolaeva@pedklin.ru

**ВОИНОВА В.Ю.,**

д.м.н., Институт Вельтищева ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова, г. Москва, Россия,  
e-mail: vivoinova@yandex.ru

## СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ДИАГНОСТИКЕ ДИСПЛАЗИИ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ У ДЕТЕЙ

DOI: 10.25881/18110193\_2024\_4\_60

**Аннотация.** Сложность диагностики наследственных заболеваний соединительной ткани у детей заключается в вариабельности признаков отдельных нозологических форм и недостатке опыта у врачей в связи с низкой частотой встречаемости данных патологических состояний. Неправильная и несвоевременная диагностика нередко приводит к негативным последствиям для пациента, включая инвалидность и летальный исход. Многие детские врачи при диагностике редких болезней нуждаются в консультативной поддержке более опытных коллег. Целью настоящей работы является создание системы поддержки принятия врачебных решений при диагностике дисплазии соединительной ткани у детей и ее реализация в виде веб-приложения.

**Материалы и методы.** В статье представлена разработка системы поддержки принятия врачебных решений, которая позволяет рядовому специалисту применить в своей практике опыт, накопленный экспертами по диагностике дисплазии соединительной ткани. В основу базы знаний были положены международные критерии для диагностики синдромов Марфана и Элерса-Данло. База данных включает многоаспектную информацию о рассматриваемых заболеваниях, в частности фотографии клинических проявлений и рентгенограммы, которые предназначены для информационной поддержки врача при вводе данных пациента.

*Результаты.* С помощью экспертов была сформирована база продукционных правил, а также перечень информативных признаков для диагностики указанных синдромов, предложены эвристические алгоритмы проверки диагностических гипотез на основе анализа базы знаний. Разработано веб-приложение, позволяющее провести дифференциальную диагностику синдрома Марфана и синдрома Элерса-Данло, включая 13 типов данного синдрома, проведена валидация системы на массиве 152 пациентов.

*Выводы.* Разработанная авторами система помогает выявить симптомы при осмотре пациента, оценить степень выраженности фенотипических проявлений, сформировать диагностические гипотезы, а также обосновать необходимость проведения дополнительных исследований с целью подтверждения диагноза.

**Ключевые слова:** дифференциальная диагностика, продукционные правила, редкие болезни, наследственные заболевания соединительной ткани, синдром Марфана, синдром Элерса-Данло.

**Для цитирования:** Путинцев А.Н., Никольский Д.А., Грицевская Д.Ю., Короленок Е.М., Семячкина А.Н., Николаева Е.А., Воинова В.Ю. Система поддержки принятия врачебных решений по диагностике дисплазии соединительной ткани у детей. Врач и информационные технологии. 2024; 4: 60-71. doi: 10.25881/18110193\_2024\_4\_60.

**PUTINTSEV A.N.,**

PhD, Veltischev Institute, Moscow, Russia,  
e-mail: pa@pedklin.ru

**NIKOLSKY D.A.,**

Veltischev Institute, Moscow, Russia,  
e-mail: nikolsky.d@pedklin.ru

**GRITSEVSKAYA D.YU.,**

Veltischev Institute, Moscow, Russia,  
e-mail: dgritsevskaya@mail.ru

**KOROLENOK E.M.,**

Veltischev Institute, Moscow, Russia,  
e-mail: elizavetasherbinina@mail.ru

**SEMYACHKINA A.N.,**

DSc, Veltischev Institute, Moscow, Russia,  
e-mail: asemyachkina@pedklin.ru

**NIKOLAEVA E.A.,**

DSc, Veltischev Institute, Moscow, Russia,  
e-mail: enikolaeva@pedklin.ru

**VOINOVA V.YU.,**

DSc, Veltischev Institute, Moscow, Russia,  
e-mail: vivoinova@yandex.ru

## MEDICAL DECISION SUPPORT SYSTEM FOR DIAGNOSING CONNECTIVE TISSUE DYSPLASIA IN CHILDREN

DOI: 10.25881/18110193\_2024\_4\_60

**Abstract.** *Background. The difficulty in diagnosing of hereditary connective tissue diseases (HDCTD) in children lies in the variability of signs of individual nosologic forms and lack of experience of physicians due to the low frequency of occurrence of these pathological conditions. Incorrect and untimely diagnosis often leads to negative consequences for the patient, including disability and death. Many pediatricians need consultative support from more experienced colleagues when diagnosing rare diseases.*

*The aim of this work is to create a system to support medical decision-making in the diagnosis of connective tissue dysplasia in children and its implementation in the form of a web application.*

*Materials and methods. The article presents the development of a medical decision support system that allows the average specialist to apply in his practice the experience accumulated by experts in the diagnosis of connective tissue dysplasia. The knowledge system was based on international criteria for the diagnosis of Marfan and Ehlers-Danlos syndromes. The database includes multidimensional information about the diseases in question, such as photographs of clinical manifestations and radiographs, which are intended to provide information support to the physician when entering patient data.*

*Results.* With the help of experts, a database of product rules was formed, as well as a list of informative features for diagnosing the above syndromes, and heuristic algorithms for testing diagnostic hypotheses based on the analysis of the knowledge base were proposed. A web application was developed to perform differential diagnosis of Marfan syndrome and Ehlers-Danlo syndrome, including 13 types of this syndrome, and the system was validated on an array of 152 patients. *Conclusion.* The system developed by the authors helps to identify symptoms during patient examination, assess the degree of phenotypic manifestations, form diagnostic hypotheses, and justify the need for additional studies to confirm the diagnosis.

**Keywords:** differential diagnostics, production rules, rare diseases, inheritable disorders of connective tissue, Marfan syndrome, Ehlers-Danlo syndrome.

**For citation:** Putintsev A.N., Nikolsky D.A., Gritsevskaya D.Yu., Korolenok E.M., Semyachkina A.N., Nikolaeva E.A., Voinova V.Yu. Medical decision support system for diagnosing connective tissue dysplasia in children. Medical doctor and information technology. 2024; 4: 60-71. doi: 10.25881/18110193\_2024\_4\_60.



## ВВЕДЕНИЕ

Распространенность дисплазий соединительной ткани составляет по разным данным от 8% до 26% и более [1]. Среди людей с данной патологией важно своевременно выявить пациентов с наследственными синдромами, требующими медикаментозной поддержки, хирургической коррекции и медико-генетического консультирования. В рамках представленной работы рассматриваются дифференцированные формы наследственных дисплазий соединительной ткани: синдром Марфана (СМ), синдром Элерса-Данло (СЭД), а также синдромы Лойса-Дитца, Билса и Стиклера. Данные заболевания характеризуются значительным разнообразием клинических проявлений и вариабельностью признаков. При этом их низкая распространенность обуславливает недостаточность личного опыта в наблюдении и ведении пациентов, что затрудняет диагностику заболеваний соединительной ткани. Нередко диагноз у детей и подростков устанавливают несвоевременно, что приводит к инвалидизации, ухудшению качества жизни, затруднению социальной адаптации, поэтому вопросы ранней диагностики, лечения и профилактики имеют как медицинское, так и социально-экономическое значение. Благодаря развитию современных информационных технологий увеличивается доступность экспертных знаний по диагностике редких болезней, однако в настоящее время в нашей стране не существует системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) по диагностике заболеваний соединительной ткани у детей.

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Для поддержки принятия врачебных решений при диагностике редких болезней действуют несколько зарубежных систем. Широко известны такие веб-приложения, как австралийская система POSSUM [2], Лондонская база данных по дизморфологии LDDDB [3], французская экспертная система GENDIAG [4], описывающие несколько тысяч наследственных и тератогенных синдромов, включая список фенотипических проявлений и изображений пациентов. Эти веб-ресурсы позволяют проводить поиск синдромов по названию и по признакам. В результате поиска формируется узкий дифференциально-диагностический ряд заболеваний,

сходных по симптоматике с описанным случаем. При этом визуально наблюдаемые клинические проявления аномалий развития нередко позволяют выдвинуть первичную диагностическую гипотезу, однако указанные системы не предусматривают поддержку врачебных решений в виде рекомендаций по дообследованию и ведению конкретного пациента и не предоставляют оценку необходимости медико-генетического консультирования.

В последние годы возрос интерес к разработке инструментов информационной поддержки диагностики редких заболеваний. В обзоре систем поддержки диагностики редких заболеваний Faviez et al. [5], опубликованном в 2020 году, приведено описание 14 готовых к использованию систем. Наиболее эффективная система поддержки Phenomizer [6] реализована в виде веб-приложения и используется для измерения фенотипического сходства между пациентом, представленным набором фенотипических признаков и наследственными заболеваниями, описанными в базе данных на основе терминов медицинской базы данных OMIM и Human Phenotype Ontology (HPO) [7]. Разработана статистическая модель, присваивающая значение  $p$  полученным показателям сходства для ранжирования диагностических гипотез. В большинстве зарубежных СППВР, основанных на фенотипических признаках, для кодирования рассматриваются термины HPO. Однако применение зарубежных систем российскими врачами затруднено из-за отсутствия адаптации HPO на русский язык, а также отчасти и из-за недоверия к предлагаемому решению ввиду отсутствия объяснения полученного результата. В Белорусском государственном медицинском университете в 2012 г. были разработаны алгоритм и автоматизированная информационная система диагностики СМ [8] на основе Гентских критериев (пересмотр 2010 г.) [9]. Данная система была реализована для работы в составе Автоматизированной истории болезни на локальных компьютерах и веб-приложением не является.

В разработке СППВР для диагностики редких болезней существует 2 основных подхода: так называемые вычислительные и экспертные системы. К первой группе — вычислительным системам, относятся СППВР, в основе работы которых лежат методы математической статистики

или машинного обучения, например, искусственные нейронные сети. Общим недостатком таких систем является сложность интерпретации и обоснования вывода, так как подобные алгоритмы работают по принципу «черного ящика», и производимые ими вычисления не имеют медицинского смысла. Отсутствие наглядной логики рассуждений вызывает недоверие у врачей и существенно сдерживает развитие вычислительных СППВР.

Системы, относящиеся ко второй группе — экспертные, то есть основаны на информации, предоставленной специалистами с глубокими знаниями в данной области. Один из способов представления экспертной информации, а также данных, извлеченных из литературных источников, — построение так называемой базы знаний, которая, в свою очередь, является основой для формирования продукционных правил «Если-То». Работа экспертной системы строится на активации тех или иных правил при оценке данных о пациенте, что позволяет не только имитировать ход рассуждений врача-клинициста, но и предоставить исчерпывающие сведения о последовательности и сути звеньев логической цепочки. Таким образом, СППВР, основанные на знаниях, имеют существенное преимущество перед вычислительными, благодаря наличию объяснения полученного системой решения, и пользуются большим доверием у врачей. Разработка подобных СППВР позволяет не только оказать клиницисту необходимую информационную поддержку, но и сохранить ценный опыт, накопленный экспертами за десятилетия практики. Данная возможность особенно актуальна для диагностики редких болезней, таких как наследственные нарушения соединительной ткани (ННСТ), поскольку каждый из малого числа уникальных специалистов, которые сталкиваются с орфанными заболеваниями на постоянной основе, может передать свои знания, оказать неоценимую поддержку коллегам и, безусловно, помощь пациентам. Также известные СППВР для диагностики редких заболеваний можно разделить на системы со свободным вводом данных о пациенте и те, которые используют справочник какого-либо рода. Например, многие известные продукты, в частности Phenomizer, берут за основу НРО [7], другие — разрабатывают собственные базы терминов.

В России СППВР активно развиваются, в том числе с применением машинного обучения и других технологий искусственного интеллекта. В работе [10] описаны основные характеристики и функциональные возможности облачной платформы IASaaS, которая поддерживает создание специализированных оболочек интеллектуальных систем. На ее основе разработана экспертная диагностическая система поддержки принятых решений для лизосомных наследственных заболеваний [11], которая показала высокую эффективность долабораторной дифференциальной диагностики и является одной из немногих отечественных разработок в данной области. По данным за 2023 г. в обзоре российских СППВР [12] приведены описания 29 веб-приложений, в основном направленных на помощь в лечении и мониторинге пациентов, однако СППВР для диагностики редких болезней в данном обзоре не представлены.

#### ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В связи с тем, что неправильная и несвоевременная диагностика СМ, синдрома Лойса-Дитца, СЭД нередко приводят к инвалидности, а в случае расслоения и разрыва аорты являются причиной смертельных исходов, нами была поставлена задача разработать СППВР при диагностике ННСТ. В Институте Вельтищева врачи имеют богатый опыт диагностики и лечения пациентов с редкими заболеваниями, которые направляются в Институт из разных регионов России, поэтому важно использовать накопленный опыт ведения сотен пациентов в практике врачей, встречающих единичные случаи заболеваний. Это позволит своевременно диагностировать состояния, требующие специфической терапии, и улучшить качество оказания медицинской помощи пациентам и их семьям.

Целью настоящей работы является создание СППВР при диагностике дисплазии соединительной ткани у детей и ее реализация в виде веб-приложения. В частности, это предполагает поддержку при решении следующих задач:

- формирование ранжированного списка диагностических гипотез;
- выбор и обоснование проведения исследований в процессе диагностики;
- подтверждение или отклонение гипотезы;
- объяснение полученного результата.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Разрабатываемая система относится к классу гибридных СППВР, сочетающих информационно-справочные блоки и компоненты интеллектуальных систем, моделирующие рассуждения врача [13]. При ее создании были разработаны эвристические алгоритмы вывода решений на основе баз знаний, связывающие как отдельные симптомы, так и симптомокомплексы с диагнозами. Для диагностики СМ использованы Гентские критерии (пересмотр 2010 г.) [14]. В качестве основных признаков рассматриваются: семейный анамнез, наличие эктопии хрусталика, дилатация аорты, мутация в гене *FBN1*, а также балл вовлеченности соединительной ткани – количество таких клинических проявлений как тяжелая миопия, арахнодактилия, деформация грудной клетки, стопы. Для каждой комбинации из этих признаков имеется экспертное

заключение о наличии СМ (Табл. 1). Каждая строка соответствует продукционному правилу, например, ЕСЛИ у пациента имеется Семейный анамнез (наличие родственников с СМ) и Эктопия хрусталика, ТО диагноз: СМ.

Для диагностики СЭД использована Вилль-Франшская классификация (1998, пересмотр 2017 года) [15], описывающая 13 типов данного синдрома. База знаний была разработана с учетом частоты встречаемости симптомов по данным медицинской литературы, массивов историй болезней, а также на основе экспертных оценок. Для рассматриваемой группы заболеваний соединительной ткани был сформирован перечень наиболее информативных признаков. Экспертным путем были получены оценки информативности признаков, исходя из их частоты при определенном заболевании. В Таблице 2 приведены количественные оценки частоты

**Таблица 1 — Фрагмент базы правил по диагностике СМ**

Семейный анамнез	Эктопия хрусталика	Дилатация аорты Z ≥ 3	Балл вовлеченности > 6	Наличие мутации FBN1	Диагноз с. Марфана
-	-	+	-	+	да
-	-	+	+	-	да
-	-	+	+	+	да
-	+	-	-	+	да
-	+	-	+	+	да
-	+	+	-	-	высоковероятен
-	+	+	-	+	да
+	-	-	+	+	высоковероятен
+	-	-	+	+	да
+	-	+	-	-	не подтвержден
+	-	+	-	+	да
+	+	-	-	-	да

**Таблица 2 — Количественные оценки частоты фенотипических признаков**

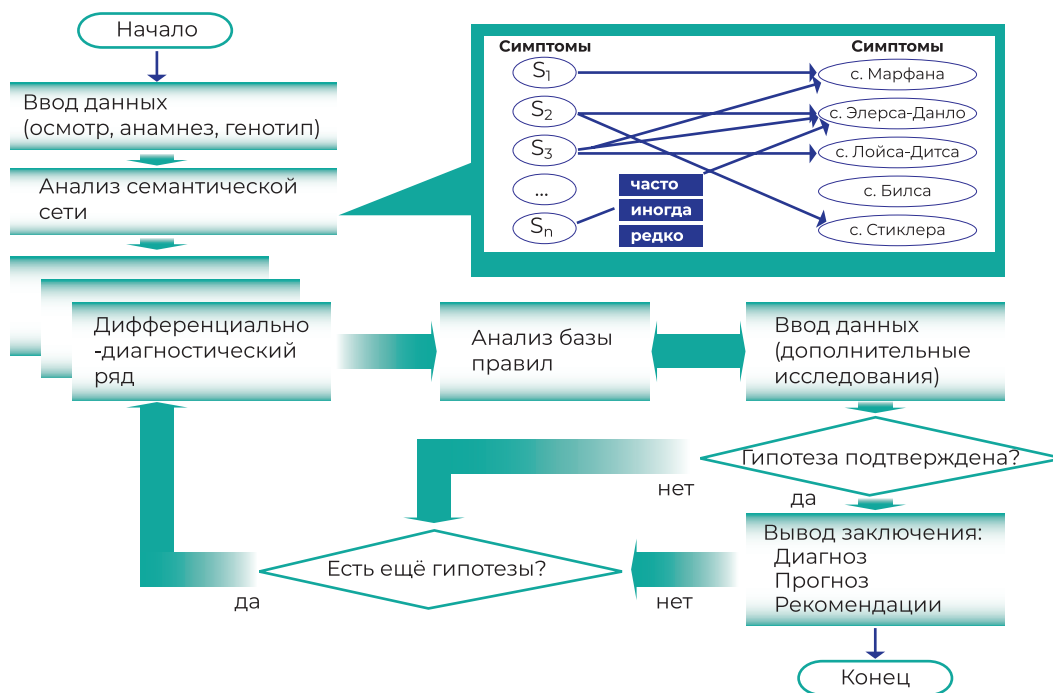
Симптомы	Синдромы				
	Марфана	Элерса-Данло	Стиклера	Билса	Лоиса-Дитца
арахнодактилия	3	1	1	3	2
долихостеномелия	3	1	1	2	2
гиперподвижность суставов	2	3	1	1	2
миопия средняя и тяжелая	3	2	3	1	2
наличие рубцов	1	3	1	1	1
наличие экхимозов	1	3	1	1	1
носовые кровотечения	1	3	1	1	1
вывихи/подвывихи суставов	1	2	1	1	2
узкий лицевой скелет	3	1	1	2	1

фенотипических признаков: 1 — симптом встречается иногда (<50%), 2 — симптом встречается часто (до 90%), 3 — симптом встречается почти всегда (>90%).

**Архитектура системы.** Основу СППВР составляют 4 блока: приобретения знаний, логического вывода, ввода/вывода и объяснений. База данных включает многоаспектную информацию о рассматриваемых заболеваниях, в частности фотографии клинических проявлений и рентгенограммы. Эти примеры фенотипических проявлений предназначены для информационной поддержки врача при вводе данных пациента. Блок ввода/вывода обеспечивает ввод данных пользователя и вывод заключения, например, «СМ маловероятен, требуется дифференциальная диагностика с гомоцистинурией». Принцип функционирования системы включает выдвижение гипотезы на основании ограниченного набора дифференцирующих признаков с возможностью последующего расспроса врача для подтверждения или отклонения выдвинутой гипотезы. Блок логического вывода объединяет правила из информационной базы с данными

пациента, используя смешанную стратегию, которая включает прямой вывод — от данных к диагнозу и обратный — от гипотезы к получению данных по результатам дополнительных исследований. Предусмотрена выдача объяснений: почему СППВР пришла к тому или иному заключению — приводится правило, которое сработало на основании полученных данных.

На рисунке 1 схематически представлен алгоритм дифференциальной диагностики на основе анализа базы знаний. На первом этапе врач вводит данные анамнеза и осмотра пациента. Прежде всего система предлагает ввести симптомы, которые являются информативными для данной группы заболеваний, а также результаты генетического исследования, если они известны. Анализ таблицы частот признаков позволяет вычислить так называемый «вес» каждого синдрома и сформировать дифференциально-диагностический ряд, ранжированный по убыванию этого показателя. Далее выполняется проверка наиболее вероятной гипотезы на основе анализа базы правил. Здесь работают эвристические алгоритмы, которые



**Рисунок 1 — Алгоритм дифференциальной диагностики на основе анализа базы знаний.**

проверяют правила методом перебора, в первую очередь с минимальным количеством признаков в левой части, поскольку диагноз может быть установлен при наличии 2-3 признаков, которые могут быть известны. Анализ базы правил предполагает ввод клинико-лабораторных данных по результатам проведенных пациенту исследований, а при их отсутствии система дает рекомендации по их проведению для уточнения диагноза. Если гипотеза подтверждена, формируется заключение. Если после перебора всех правил гипотеза не подтверждается — проверяется другая гипотеза. Таким образом, цикл проверки гипотез повторяется. В результате формируется сводное заключение, которое наряду с диагнозом может содержать рекомендации по лечению и профилактике осложнений.

### ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ВАЛИДАЦИЯ СИСТЕМЫ

Для программной реализации СППВР разработано веб-приложение, которое представляет собой интерактивную программу, позволяющую провести дифференциальную диагностику в режиме дистанционного доступа, в том числе с использованием мобильных устройств. В основу технологии проектирования программного обеспечения положена архитектура реляционной модели данных с использованием кроссплатформенного решения на базе стека

Laravel-VueJS-mysQL в соответствии со схемой: модель — представление — контроллер. Веб-приложение, включая алгоритмическое и прикладное программное обеспечение, разработано авторами [16]. На рисунке 2 представлена экранная форма СППВР в процессе диагностики на этапе проверки гипотезы о наличии у пациента СМ.

Валидация СППВР проводилась с использованием базы данных «Цифровой фенотип» [17], которая содержит формализованное описание нескольких сотен фенотипических признаков пациентов с СМ и СЭД, включая оценку степени их выраженности с использованием порядковых и количественных шкал (рис. 3).

Контрольная выборка содержала данные 152 историй болезней пациентов детского возраста с СМ и СЭД. Проведенная валидация в целом показала хорошие значения: показатели чувствительности для диагностики СМ варьируют в диапазоне от 75 до 85%. По специфичности система близка к 100% для всех диагнозов, участвовавших в анализе (рис. 4).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При разработке СППВР для диагностики ННСТ нами был выбран путь экспертной системы, поскольку существуют международные критерии для диагностики данных заболеваний [14, 15], которые были положены в основу продукционных правил при построении базы знаний.

Система поддержки принятия  
врачебных решений

синдром Марфана отсутствует [подробнее](#)

**Семейный анамнез**  
*Наличие родственников с синдромом Марфана*

Да Нет Нет данных

**Эктопия хрусталика**  
*Заключение офтальмолога*

Да Нет Нет данных

**Дилатация аорты (Z>3)**  
*УЗ-исследования магистральных сосудов*

Да Нет Нет данных

**Мутация в гене FBN1**  
*Молекулярно-генетические исследования*

Да Нет Нет данных

Балл вовлеченности: 0

Уменьшенное соотношение верхнего/нижнего сегмента (меньше 0,85)

Увеличенное соотношение размаха рук к росту (более 1,05)

Деформация грудной клетки ?

Килевидная

Воронкообразная

Асимметрия

протрузия вертлужной впадины

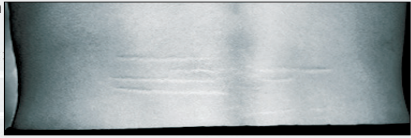
Деформация позвоночника

Сколиоз

Груднопоясничной киф

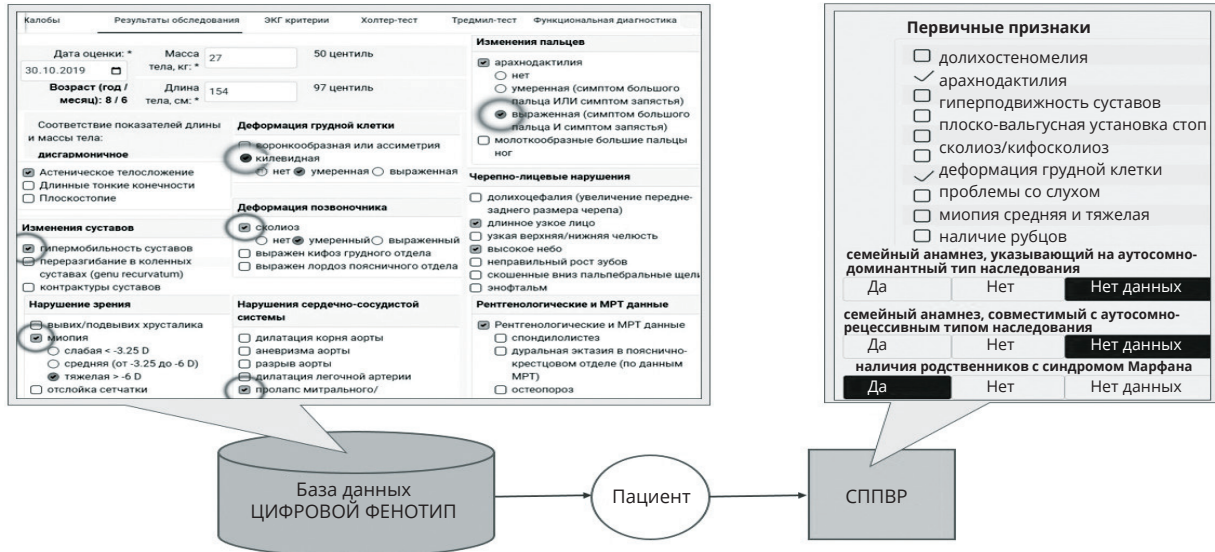
уменьшение разгибан

Кожные стрии не связанные с изменением веса и имеющие необычную локализацию

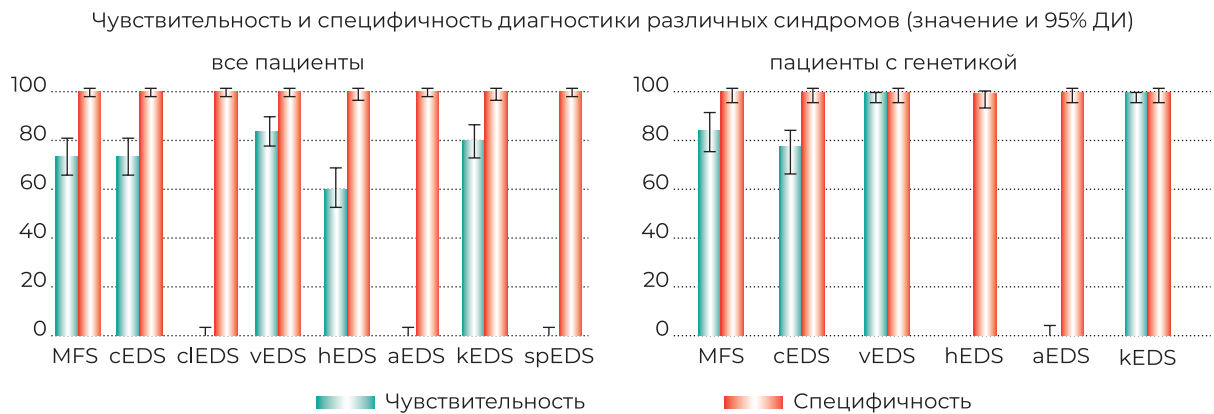


**Синдром Марфана не диагностируется**  
На основании введенных Вами данных рекомендуется:  
– сделать полногеномное молекулярно-генетическое исследование у пациента  
(для подтверждения наличия синдрома Марфана)

Рисунок 2 — Скриншот пользовательского интерфейса в процессе диагностики.



**Рисунок 3 — Валидация системы на массиве пациентов базы данных «Цифровой фенотип».**



**Рисунок 4 — Результаты проведения клинической валидации системы. ДИ — доверительный интервал; MFS — Синдром Марфана; cEDS — Классический тип СЭД; cEDS — Классикоподобный тип СЭД; vEDS — Сосудистый тип СЭД; hEDS — Гипермобильный тип СЭД; aEDS — Артрохалазия СЭД; kEDS — Кифосколиотический тип СЭД; spEDS — Спондилодиспластический тип СЭД.**

Важным аргументом в пользу выбора продукционных правил является наглядность аргументации по принятому системой решению: система выдает наглядный перечень признаков, активировавших сработавшее продукционное правило — симптомы и фенотипические характеристики пациента, позволившие системе сделать заключение о наличии данного синдрома. С помощью

экспертов пул признаков был существенно сокращен: были извлечены значимые диагностические признаки, а также выявлены синонимы. В результате была сформирована база знаний, содержащая 174 значимых диагностических признака, 113 продукционных правил, 75 пояснений, а также 133 изображения симптомов заболеваний.

В статье показаны все этапы разработки СППВР от извлечения знаний до валидации системы, предложены эвристические алгоритмы проверки диагностических гипотез на основе анализа базы знаний. Разработано веб-приложение, позволяющее провести дифференциальную диагностику СМ и СЭД, включая 13 типов данного синдрома, проведена валидация системы на массиве 152 пациентов базы данных «Цифровой фенотип». Применение СППВР в процессе диагностики дисплазии соединительной ткани позволяет:

- сформировать диагностические гипотезы на основании полученных данных;
- получить рекомендации по проведению дополнительного обследования пациента для подтверждения или отклонения гипотез;
- получить заключение по результатам диагностики и рекомендации по ведению пациента;

- повысить знания врача-педиатра, когда предлагаемые гипотезы обоснованы и объяснены. В дальнейшем предполагается расширить базу знаний, включив синдромы Лойса-Дитца, Билса и Стиклера. В отличие от большинства разработок в области диагностики редких заболеваний, предлагающих пользователю ранжированный список диагностических гипотез, СППВР для диагностики ННСТ выдает заключение о наличии у пациента устанавливаемого по клиническим проявлениям заболевания. Безусловно, окончательная диагностика большинства типов СЭД требует генетического исследования, однако система способна предоставить дополнительное обоснование для проведения дорогостоящего анализа. Более того, в некоторых случаях заключение системы может удешевить молекулярно-генетическое исследование и повысить его результативность благодаря сужению диапазона диагностического поиска.

#### ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Клинические рекомендации российского научного медицинского общества терапевтов по диагностике, лечению и реабилитации пациентов с дисплазиями соединительной ткани. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35040370>. (Дата обращения: 02.02.2024). [Clinical Recommendations of the Russian Scientific Medical Society of Therapists on Diagnostics, Treatment and Rehabilitation of Patients with Connective Tissue Dysplasias. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35040370> (accessed 02.02.2024). (In Russ.)]
2. POSSUMweb: Pictures Of Standard Syndromes and Undiagnosed Malformations. URL: <https://www.possum.net.au/>. (accessed 02.02.2024).
3. London Dysmorphology Database (LDDDB). URL: <https://www.face2gene.com/lmd-history/>. (accessed 02.02.2024).
4. Ayme S, Caraboenf M, Gouvernet J. GENDIAG: A computer assisted syndrome identification system. *Clinical Genetics*. 1985; 28(5): 410–411.
5. Faviez C, Chen X, Garcelon N, et al. Diagnosis support systems for rare diseases: a scoping review. *Orphanet J Rare Dis*. 2020; 15: 94. doi: 10.1186/s13023-020-01374-z.
6. PhenoMizer. URL: <https://compbio.charite.de/phenomizer/> (accessed 02.02.2024).
7. Köhler, et al. The Human Phenotype Ontology in 2017. *Nucleic Acids Research*. 2017; 45(D1): D865–D876. doi: 10.1093/nar/gkw1039.
8. Рудой А.С., Пашкевич П.П., Князев И.Н., Горустович А.Г. Автоматизированная информационная система диагностики синдрома Марфана // Вопросы организации и информатизации здравоохранения. — 2012. — №5. — С.276-278. [Rudoj AS, Pashkevich PP, Knyazev IN, Gorustovich AG. Avtomatizirovannaya informacionnaya sistema diagnostiki sindroma Marfana. *Voprosy organizacii i informatizacii zdravoohraneniya*. 2012; S: 276-278. (In Russ.)]

9. Brennan P. Revised diagnostic criteria for Marfan syndrome. *L J Med Genet.* 2010; 47: 476-485. doi: 10.4997/jrcpe.2011.309.
10. Грибова В.В., Клещев А.С., Москаленко Ф.М. и др. Облачная платформа IACPAAS для разработки оболочек интеллектуальных сервисов: состояние и перспективы развития // Программные продукты и системы. — 2018. — Т.31. — №3. — С.527-536. [Gribova VV, Kleshchev AS, Moskalenko FM, et al. Oblachnaya platforma IACPAAS dlya razrabotki obolochek intellektual'nykh servisov: sostoyanie i per-spektivy razvitiya. *Pro-grammnye produkty i sistemy.* 2018; 31(3): 527-536. (In Russ.)] doi: 10.15827/0236-235X.123.527-536.
11. Благосклонов Н.А., Кобринский Б.А. Разработка основанной на знаниях системы диагностики орфанных заболеваний // Врач и информационные технологии. — 2019. — №4. — С.72-78. [Blagosklonov NA, Kobrinskij BA. Razrabotka osnovannoј na znaniyah sistemy diagnostiki orfannyh zabolevanij. *Vrach i informacionnye tekhnologii.* 2019; 4: 72-78. (In Russ.)]
12. Обзор Российских систем поддержки принятия врачебных решений URL: <https://webiomed.ru/blog/obzor-rossiiskikh-sistem-podderzhki-prinyatiya-vrachebnykh-reshenij/>. (Дата обращения: 02.02.2024). [Obzor Rossijskih sistem podderzhki prinyatiya vrachebnyh reshenij. URL: <https://webiomed.ru/blog/obzor-rossiiskikh-sistem-podderzhki-prinyatiya-vrachebnykh-reshenij/>. (accessed 02.02.2024). (In Russ.)]
13. Реброва О.Ю. Жизненный цикл систем поддержки принятия врачебных решений как медицинских технологий // Врач и информационные технологии. — 2020. — №1. — С.27-37. [Rebrova OYU. Zhiznennyj cikl sistem podderzhki prinyatiya vrachebnyh reshenij kak medicinskih tekhnologij. *Vrach i informacionnye tekhnologii.* 2020; 1: 27-37. (In Russ.)]
14. Penpattharakul W, Pithukpakorn M. Revised Ghent Criteria is Comparable to Original Diagnostic Criteria for Marfan Syndrome with Increased Ability to Clinically Diagnose Related Disorders. *J Med Assoc Thai.* 2016; 99(1): 34-39.
15. Malfait F, et al. The 2017 international classification of the Ehlers-Danlos syndromes. *Am. J. Med. Genet. C. Semin. Med. Genet.* 2017; 175(1): 8-26.
16. Путинцев А.Н., Никольский Д.А. Система информационной поддержки принятия врачебных решений по диагностике дисплазии соединительной ткани у детей. Свидетельство Роспатента о регистрации программы для ЭВМ 2024664745, 24.06.2024. [Putintsev A.N., Nikolsky D.A. System of Information Support for Medical Decision Making on the Diagnosis of Connective Tissue Dysplasia in Children. Certificate of registration of a computer program of Rospatent 2024664745. 24.06.2024 (In Russ.)]
17. Путинцев А.Н., Воинова В.Ю., Школьников М.А. и др. Информационно-аналитическая платформа «Цифровой фенотип» для выявления взаимосвязи фенотипических и генетических данных пациентов с наследственными заболеваниями // Российский вестник перинатологии и педиатрии. — 2023. — Т.68. — №3. — С.92-98. [Putintsev AN, Voinova VYu, Shkolnikova MA, et al. Informacionno-analiticheskaya platforma "Cifrovoj fenotip" dlya vyyavleniya vzaimosvyazi fenotipicheskikh i geneticheskikh dannyh pacientov s nasledstvennymi zabolevaniyami Rossijskij vestnik perinatologii i pediatrii. 2023; 68(3): 92-98. (In Russ.)] doi: 10.21508/1027-4065-2023-68-3-92-98.



### ЗУКОВ Р.А.,

д.м.н., профессор, КГБУЗ «Красноярский краевой клинический онкологический диспансер им. А.И. Крыжановского», г. Красноярск, Россия; ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» МЗ РФ, г. Красноярск, Россия, e-mail: zukov.ra@krasgmu.ru

### КОМИССАРОВА В.А.,

КГБУЗ «Красноярский краевой клинический онкологический диспансер им. А.И. Крыжановского», г. Красноярск, Россия; ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» МЗ РФ, г. Красноярск, Россия, e-mail: lera21734tkd@gmail.com

### САФОНЦЕВ И.П.,

к.м.н., доцент, КГБУЗ «Красноярский краевой клинический онкологический диспансер им. А.И. Крыжановского», г. Красноярск, Россия; ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» МЗ РФ, г. Красноярск, Россия, e-mail: safoncev@gmail.com

### ЕВМИНЕНКО С.А.,

Министерство здравоохранения Красноярского края, г. Красноярск, Россия, e-mail: s.evminenko@kraszdrav.ru

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ДИАГНОСТИКЕ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: ОПЫТ РЕГИОНА

DOI: 10.25881/18110193\_2024\_4\_72

**Аннотация.** Цель: анализ результатов внедрения и использования изделия с технологией искусственного интеллекта (ИИ) в практике врачей-рентгенологов при проведении маммографического исследования. Материалы и методы: база данных пациентов, прошедших маммографическое исследование в рамках диспансеризации определенных групп взрослого населения и профилактических медицинских осмотров, снимки которых пересмотрены специалистами Референс-центра Красноярского краевого клинического онкологического диспансера (РЦ КККОД) и ИИ. Обработка результатов проводилась с использованием программного продукта StatTech 4.0.6. Дискордантность считалась для клинически значимых расхождений, при которых меняется тактика ведения пациента. Результаты: в Красноярском крае внедрение в практику врачей-рентгенологов ИИ при проведении маммографического исследования привело к увеличению диагностически сложных категорий BI-RADS 3,4, что повысило нагрузку на РЦ КККОД на 40,8%. При этом произошло снижение процента дискордантности на 1,9% в сравнении с периодом, когда ИИ не использовался в регионе, свидетельствуя о том, что врачи не просто соглашались с результатами ИИ и отправляют на пересмотр в РЦ КККОД, а анализируют полученное заключение ИИ, и ключевое решение остается за врачом-рентгенологом. Вывод: использование ИИ в практике врача-рентгенолога имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Отрицательные связаны в большинстве случаев с техническими и организационными проблемами, устранив которые можно добиться повышения качества маммографических исследований и их описания.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, рак молочной железы, заболеваемость, маммографические исследования, референс-центр, Красноярский край.

**Для цитирования:** Зуков Р.А., Комиссарова В.А., Сафонцев И.П., Евминенко С.А. Искусственный интеллект в диагностике рака молочной железы: опыт региона. Врач и информационные технологии. 2024; 4: 72-84. doi: 10.25881/18110193\_2024\_4\_72.

**ZUKOV R.A.,**

DSc, Professor, FSBEI HE Prof. V.F. Voino-Yasenetsky KrasSMU MOH Russia, Krasnoyarsk, Russia; A.I. Kryzhanovsky Krasnoyarsk Territorial Clinical Oncology Dispensary, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: zukov.ra@krasgmu.ru

**KOMISSAROVA V.A.,**

A.I. Kryzhanovsky Krasnoyarsk Territorial Clinical Oncology Dispensary, Krasnoyarsk, Russia; FSBEI HE Prof. V.F. Voino-Yasenetsky KrasSMU MOH Russia, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: lera21734tkd@gmail.com

**SAFONTSEV I.P.,**

PhD, Associate Professor, FSBEI HE Prof. V.F. Voino-Yasenetsky KrasSMU MOH Russia, Krasnoyarsk, Russia; A.I. Kryzhanovsky Krasnoyarsk Territorial Clinical Oncology Dispensary, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: safoncev@gmail.com

**EVMINENKO S.A.,**

Ministry of Health of Krasnoyarsk Region, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: s.evminenko@kraszdrav.ru

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN BREAST CANCER DIAGNOSIS: REGIONAL EXPERIENCE

DOI: 10.25881/18110193\_2024\_4\_72

**Abstract.** Aim: to analyze the results of the implementation and use of a product with artificial intelligence (AI) technology in the practice of radiologists during mammographic examination.

*Materials and methods:* database of patients who underwent mammographic examination within the framework of medical examination of certain groups of the adult population and preventive medical check-ups, whose images were reviewed by specialists of the Reference Center of the Krasnoyarsk Regional Clinical Oncology Dispensary and AI. The results were processed using the StatTech 4.0.6 software. Discordance was considered for clinically significant discrepancies in which the patient's management tactics were changed.

*Results:* in the Krasnoyarsk Territory, the introduction of AI into the practice of radiologists during mammography examination led to an increase in diagnostically difficult categories of BI-RADS 3,4, which increased the workload on the Reference Center by 40.8%. There was a 1.9% decrease in the discordance rate compared to the period when AI was not used in the region, indicating that doctors are not simply accepting the AI results and sending them to the Reference Center for review, but are analyzing the resulting AI report, and the key decision rests with the radiologist. Conclusion: the use of AI in the practice of a radiologist has both positive and negative sides. The negative ones are mostly related to technical and organizational problems, eliminating which it is possible to improve the quality of mammographic studies and their description.

**Keywords:** Artificial intelligence, breast cancer, incidence, mammography studies, Reference Center, Krasnoyarsk Territory

**For citation:** Zukov R.A., Komissarova V.A., Safontsev I.P., Evminenko S.A. Artificial intelligence in breast cancer diagnosis: regional experience. Medical doctor and information technology. 2024; 4: 72-84. doi: 10.25881/18110193\_2024\_4\_72.

## ВВЕДЕНИЕ

Злокачественные новообразования (ЗНО) являются второй причиной смертности населения после болезней системы кровообращения во всем мире [1]. По данным международного агентства по исследованию рака в мире впервые выявлено почти 20 миллионов случаев ЗНО, что составляет 54 795 случаев рака в день, в то же время умирает от рака около 9,7 млн. человек [2].

Рак молочной железы (РМЖ) является ведущей онкологической патологией среди женского населения в структуре заболеваемости и смертности во всем мире. Так, в структуре заболеваемости среди женского населения распределение по локализациям следующее: РМЖ — 2,296 млн. случаев в 2022 году, что составляет 23,8% всех случаев ЗНО, рак легкого — 908 тыс. (9,4%), колоректальный рак — 856 тыс. (8,9%), рак шейки матки — 662 тыс. (6,9%), рак щитовидной железы — 614 тыс. случаев (6,4%). От РМЖ в 2022 году умерло более 666 тыс. человек, что составляет 15,4% смертей от ЗНО. Далее следует рак легкого — 584 тыс. человек (13,5%), колоректальный рак — 404 тыс. (9,4%), рак шейки матки — 348 тыс. (8,1%), рак желудка — 232 тыс. (5,4%) [2].

В Красноярском крае в 2022 году зарегистрировано 1 649 случаев заболевания РМЖ (10 у мужчин и 1 639 у женщин), его доля в общей структуре заболеваемости составила 11,9% от всех случаев ЗНО. Среди женского населения РМЖ занимает первое место — 23,3%. Максимальное число заболевших приходится на возрастной период 60–74 лет — 46,9%. При этом стоит отметить прирост числа впервые выявленных случаев среди молодых женщин в возрасте до 40 лет, которые не входят в скрининговую программу, направленную на выявление ЗНО на ранних стадиях, на 28,3% в сравнении с 2021 годом (с 106 случаев в 2021 году до 136 случаев в 2022) [3].

Наиболее эффективным является популяционный скрининг, примером которого является скрининг РМЖ с помощью маммографического (ММГ) исследования обеих молочных желез в двух проекциях с двойным прочтением рентгенограмм 1 раз в 2 года. В такой скрининг включены женщины от 40 до 75 лет. Согласно Европейским рекомендациям по обеспечению качества скрининга и диагностики РМЖ, маммограммы

должны читаться независимо двумя рентгенологами в связи с тем, что двойное чтение повышает чувствительность скринингового теста на 5–15% и влияет на способность выявлять ЗНО [4, 5].

Обнаружение микрокальцинатов, на долю которых приходится 25% всех непальпируемых образований, очень сильно зависит от компетенции врача-рентгенолога. Два независимых просмотра ММГ снимка двумя врачами повышают чувствительность скрининга [6]. Если заключения обоих специалистов об отсутствии рака совпадают, то пациент освобождается до следующего скринингового обследования. В случае, когда оба специалиста заподозрили ЗНО, пациент направляется на дообследование [7].

Вне зависимости от уровня и степени подготовки специалистов, участвующих в программе скрининга, постоянно должен осуществляться контроль качества проведения и описания ММГ обследований с подозрением на ЗНО в молочной железе специалистами ММГ референс-центра (РЦ) [8, 9].

Одним из инструментов, позволяющих повысить точность диагностики и выявляемость РМЖ, в настоящее время является использование в повседневной практике врача-рентгенолога медицинских изделий для принятия врачебных решений на базе искусственного интеллекта (ИИ) [10].

Кроме того, в условиях кадрового дефицита, с которым сталкивается ряд медицинских организаций (МО), ИИ может использоваться для реализации двойного чтения ММГ исследований. Замена одного рентгенолога точным алгоритмом ИИ потенциально может улучшить показатели выявления РМЖ, либо может использоваться как дополнительное чтение к уже имеющимся двум. При этом алгоритмы ИИ не уступают по чувствительности, специфичности и точности в результатах интерпретации ММГ прочтению маммограмм двумя врачами рентгенологами [10].

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ результатов внедрения и использования изделия с технологией ИИ в практике врачей-рентгенологов при проведении ММГ исследования в Красноярском крае.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В Красноярском крае с 01.06.2022 на базе Красноярского краевого клинического онкологического диспансера им. А.И. Крыжановского (КККОД) был организован РЦ по двойному прочтению цифровых ММГ снимков категории BI-RADS 3,4, установленных при первом чтении в МО первичного звена. Заявки на повторное чтение формируются МО через региональную телемедицинскую систему (ПТС), специалисты РЦ КККОД в региональном архиве медицинских изображений (РАМИ) запрашивают ММГ снимок пациента с протоколом описания и выставленной категорией BI-RADS для повторного прочтения ММГ снимка и принятия решения о тактике ведения пациента. Главными задачами РЦ являются: экспертное прочтение ММГ, контроль качества ММГ снимков и качества укладки пациента, консультативная помощь в интерпретации сложных случаев, проведение телемедицинских консультаций с федеральным национальным медицинским исследовательским центром, обучение и стажировка специалистов края.

В регионе, начиная с 2024 года, введен ИИ-сервис для диагностики признаков РМЖ при ММГ «Цельс Маммография», разработанный компанией ООО «Медицинские скрининг системы» (Регистрационное удостоверение медицинского изделия № РЗН 2021/14449 от 27.05.2021, CE Mark). Система детектирует и выделяет на изображении злокачественные и доброкачественные новообразования, кальцинаты, лимфоузлы, фиброзно-кистозную мастопатию, утолщения кожи, втянутые соски. Для подозрительного образования выделяет квадрант находки. ИИ-сервис определяет категорию по шкале BI-RADS, плотность ткани молочной железы по ACR и качество исследования по шкале PGMI.

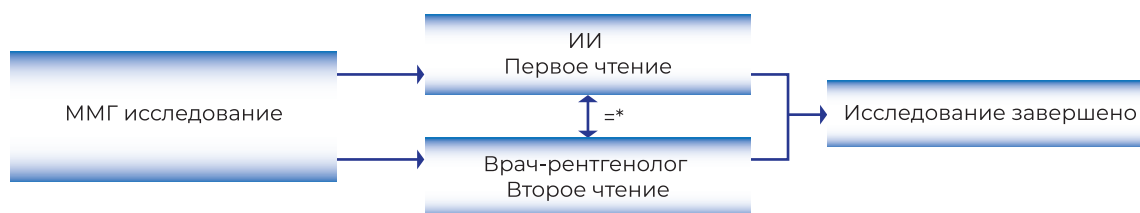
В регионе разработана модель, включающая алгоритмы принятия решений о маршрутизации пациента по данным ММГ заключений, полученных от врача-рентгенолога и ИИ. Данная модель закреплена в региональном приказе Министерства здравоохранения Красноярского края № 627-орг от 22.04.2024 [11].

### 1. Отсутствие клинически значимых расхождений.

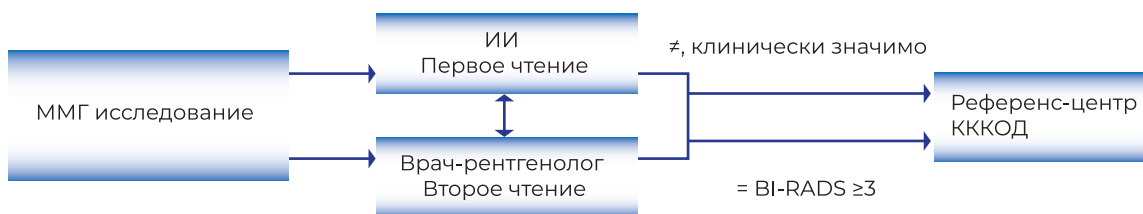
Первое описание ММГ проводит ИИ. Второй просмотр исследования проводит врач-рентгенолог МО. Врач-рентгенолог может руководствоваться результатами триажа, разметкой и заключением ИИ при выставлении своего заключения. В случае установки категории BI-RADS 0-2 и отсутствия клинически значимых расхождений (когда в двух заключениях нет категории BI-RADS 3 и выше) ММГ исследование считается завершенным (рис. 1).

### 2. Наличие клинически значимых расхождений.

Первое описание ММГ проводит ИИ. Второй просмотр исследования проводит врач-рентгенолог МО. Так как врач может оценить ММГ снимки в динамике, может учесть особенности архитектоники, участки асимметрии, отличить особенности укладки, когда складка воспринимается ИИ как участок утолщения, то в случае расхождения заключений ИИ и врача-рентгенолога — приоритет у врача. В случае, когда между врачом-рентгенологом и ИИ есть клинически значимое расхождение (BI-RADS 3 и выше) или врач-рентгенолог и ИИ выставили категорию BI-RADS 3 и выше, решение о направлении снимка в РЦ КККОД остается за врачом (рис. 2).



**Рисунок 1** — Схема проведения ММГ исследования при отсутствии клинически значимых расхождений между рентгенологом и ИИ. \* — клинически значимых расхождений при выставлении категории BI-RADS нет.



**Рисунок 2 — Схема проведения ММГ исследования при наличии клинически значимых расхождений между рентгенологом и ИИ.**

Внедрение и использование сервисов ИИ утверждено в ряде Федеральных нормативных документов. Так, в Постановлении Правительства Российской Федерации от 28.12.2023 № 235 «О программе государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи на 2024 год и на плановый период 2025 и 2026 годов» указано, что средние нормативы финансовых затрат на единицу объема медицинской помощи для проведения профилактических медицинских осмотров (ПМО) и диспансеризации определенных групп взрослого населения (ДОГВН) за счет средств ОМС установлены с учетом в том числе расходов, связанных с использованием систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР) при проведении ММГ [12]. В письме Министерства Здравоохранения Российской Федерации от 19.02.2024 № 31-2/200 так же сказано, что в случае оказания соответствующей медицинской помощи в субъекте Российской Федерации установленный тариф на оплату ММГ с учетом расходов, связанных с использованием СППВР, не должен превышать размер тарифа на оплату ММГ обеих молочных желез в двух проекциях с двойным прочтением рентгенограмм [13].

Для анализа работы с ИИ в регионе были ретроспективно использованы следующие базы данных: список пациентов, прошедших ММГ исследование в рамках ДОГВН и ПМО, а также информация о том, был ли использован ИИ специалистами первичного звена при проведении данного исследования (на основании принятого к оплате реестра); список пациентов, снимки которых пересмотрены специалистами РЦ КККОД. Благодаря этим источникам выстраивается логическая последовательность диагностики РМЖ в рамках ДОГВН и инструменты, которыми пользуются МО для уточнения диагноза и дальнейшей

маршрутизации пациента. Сопоставление баз в формате Excel проводилось по ключевым полям, совпадающим во всех источниках, с применением функции «ВПР». Еще одна база данных, которая использовалась при проведении данного исследования, была обезличенная, в ней содержалась информация о работе ИИ (о количестве снимков, которые были просмотрены ИИ и о категории, выставленной ИИ). Данную базу удалось получить благодаря совместной работе разработчиков ИИ и специалистов краевого медицинского информационно-аналитического центра. Обработка результатов проводилась с использованием программного продукта StatTech 4.0.6. Дискордантность считалась для клинически значимых расхождений, при которых меняется тактика ведения пациента. Она рассчитывалась по формуле, где в числителе ставится интересующая категория BI-RADS, в знаменателе сумма из числителя и категорий, при которых не меняется маршрутизация пациента, далее это соотношение умножалось на 100%.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В Красноярском крае в рамках ПМО и ДОГВН для МО, имеющих цифровой маммограф, введен тариф на оплату услуги А06.30.002.000.001 «Описание и интерпретация рентгенографических изображений с применением искусственного интеллекта». Сумма тарифа 250 рублей на ММГ в рамках ДОГВН и ПМО. Данный подход позволяет популяризировать и стимулировать медицинских работников активнее использовать сервисы ИИ в практике.

При этом, несмотря на наличие нормативной базы, доступность системы ИИ, для каждой МО региона отмечается ряд дефектов, влияющих на эффективность работы ИИ и маршрутизацию пациентов.

За период январь-апрель 2024 года в Красноярском крае было проведено 20 517 исследований, из них на основании реестров-счетов на оплату услуги А06.30.002.000.001 «Описание и интерпретация рентгенографических изображений с применением искусственного интеллекта» было направлено только 5 360, таким образом, МО края недополучено около 4 млн. рублей.

Первая причина: МО не подают реестры на оплату услуги, так как приравнивают это к дублированию оплаты ММГ исследования в рамках ДОГВН. Вторая причина: неправильная подача реестров — услуга не принимается к оплате, если реестр на ММГ подан не в комплексном посещении ДОГВН.

Также одним из барьеров внедрения и анализа работы ИИ является отсутствие инструмента контроля, позволяющего оценить степень использования врачом-рентгенологом заключений ИИ. На данный момент отсутствует интеграция МИС с ИИ, и ММГ заключение автоматически не подгружается в МИС, врачам-рентгенологам необходимо повторно открывать РАМИ для ознакомления с заключением ИИ. Приравнивать количество принятых к оплате реестров по услуге «Описание и интерпретация рентгенографических изображений с применением искусственного интеллекта» к количеству просмотренных заключений врачом-рентгенологом не корректно, поскольку в реестр не интегрирована информация о повторном переходе к ММГ снимку в РАМИ.

С целью повышения качества проведения и интерпретации ММГ исследований специалистами регионального РЦ проводится аналитическая работа по подсчету дискордантности

между МО и РЦ КККОД — клинически значимые расхождения между входящим сигналом (категория BI-RADS, выставленная специалистами первичного звена) и исходящим сигналом (категория BI-RADS, выставленная специалистами РЦ КККОД). За 2023 год процент дискордантности составлял 28,4%, за 6 месяцев 2024 процент дискордантности снизился до 26,5%. При этом произошло увеличение общего числа ММГ исследований, направленных в РЦ на пересмотр, на 40,8% (6 месяцев 2023 года — 3 295 исследований, 6 месяцев 2024 года — 4 640 исследований).

Начиная с апреля 2024 года, проводится расчет и анализ дискордантности между ИИ и РЦ и между ИИ и специалистами первичного звена. В таблице 1 приведены расчеты процента дискордантности за период май-июнь 2024 года между МО и РЦ (26,1%), между МО и ИИ (26,8%), между ИИ и РЦ (26,5%). При этом наиболее значимыми являются клинически значимые расхождения — изменение категории BI-RADS, при которой меняется тактика ведения пациента.

Процент расхождения между сравниваемыми группами находится на одном уровне, что подчеркивает сложность принятия решения при тактике ведения пациентов с категорией BI-RADS 3,4 при первом прочтении в рамках ДОГВН и ПМО. При этом процент завышения категории BI-RADS, выставленной МО (36,3%), обратно пропорционален проценту занижения категории, выставленной ИИ (36,1%), — в среднем 36,2%, и, наоборот, процент занижения категории BI-RADS, выставленной МО (20,8%), обратно пропорционален проценту завышения категории, выставленной ИИ (21,5%), — в среднем 21,2%.

Таблица 1 — Дискордантность ММГ заключений

МО - РЦ КККОД				МО - ИИ				ИИ - РЦ КККОД			
BR МО	Кол-во ММГ	BR РЦ	Кол-во ММГ	BR МО	Кол-во ММГ	BR ИИ	Кол-во ММГ	BR ИИ	Кол-во ММГ	BR РЦ	Кол-во ММГ
1,2,3	1167	0-2	628	1,2,3	1167	0-2	268	1,2,3	964	0-2	536
		3	296			3	432			3	231
		4-6	<b>243</b>			4-6	<b>251</b>			4-6	<b>197</b>
4	653	4-5	417	4	653	4-5	298	4	465	4-5	284
		0-3	<b>236</b>			0-3	<b>237</b>			0-3	<b>181</b>
5	15	4-6	15	5	15	4-6	10	5	120	4-6	88
		0-3	0			0-3	<b>3</b>			0-3	<b>32</b>
Σ 1835, дискордантность 26,1%				Σ 1835, дискордантность 26,8%				Σ 1549, дискордантность 26,5%			

**Таблица 2 — Категории BI-RADS, выставленные ИИ**

Категория	Количество исследований	%
BI-RADS 1	4151	30,2
BI-RADS 2	5144	37,4
BI-RADS 3	3186	23,2
BI-RADS 4	1012	7,4
BI-RADS 5	260	1,9

Дополнительно проведен анализ количества проанализированных ИИ маммограмм и выставленных категорий BI-RADS отдельно для правой и левой молочных желез. Так, за май 2024 ИИ обработано 13 753 исследования, из них 4 198 исследований (30,5%) были с категорией BI-RADS 3,4 (таблица 2).

Стоит отметить, что в ряде случаев отсутствует возможность анализа работы ИИ в связи с несоблюдением стандарта описания ММГ исследований, некачественным заключением и укладкой пациентов в МО.

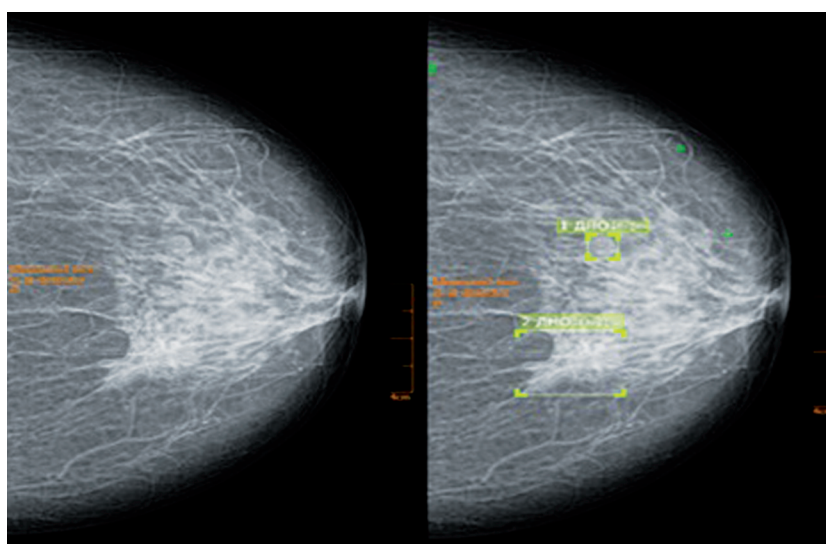
С целью решения данных проблем в Красноярском крае разработан единый протокол ММГ исследований, который внедрен на территории региона. Данное мероприятие необходимо для дальнейшей аналитической работы по сопоставлению заключений ИИ и МО с целью персонализированного прослеживания пути

пациентов при подозрении на ЗНО молочной железы.

Также еще одной из важных задач является оценка работы самого ИИ. Специалистами РЦ проводится сбор данных об ошибках системы поддержки принятия врачебных решений, основанных на технологиях ИИ, при обработке ММГ исследований, которые в дальнейшем передаются разработчику ИИ для дальнейшей работы и анализа.

Наиболее значимыми в данном случае являются клинически значимые ошибки, которые влияют на маршрутизацию пациента:

- занижение ИИ категории до BI-RADS 2 (ИИ видит образование, но помечает как доброкачественное) при наличии патологического образования, которое после было верифицировано, как злокачественное (рисунки 3 и 4).



**Рисунок 3 — ИИ — BI-RADS 2, РЦ КККОД — BI-RADS 4.**

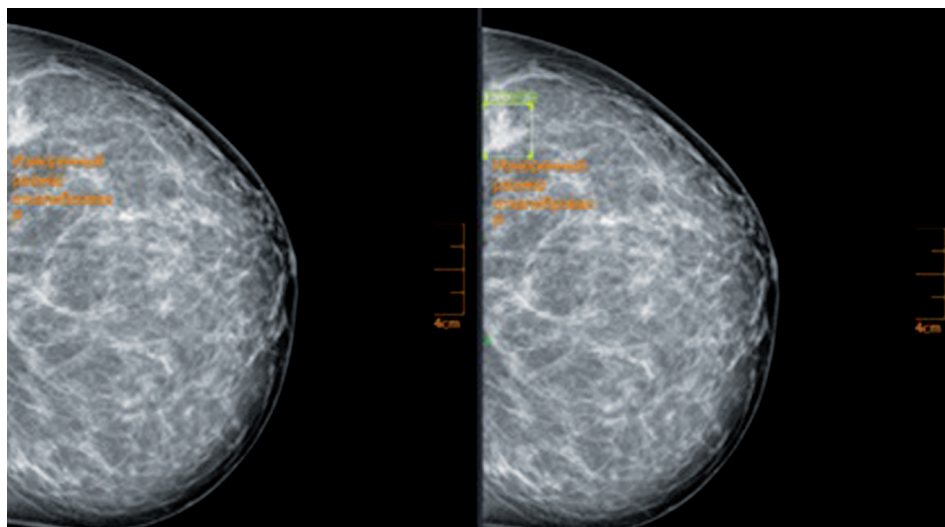


Рисунок 4 — ИИ — BI-RADS 2, РЦ КККОД — BI-RADS 4.

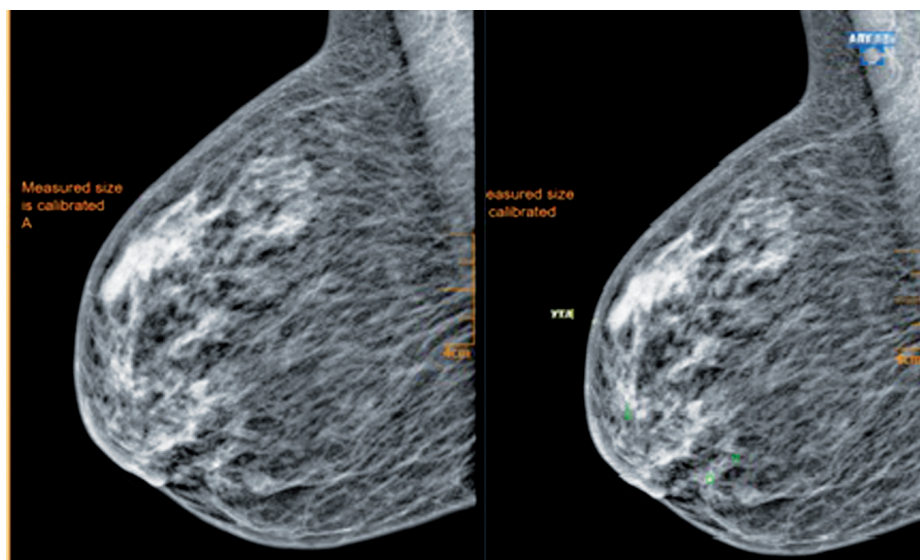


Рисунок 5 — ИИ — BI-RADS 3, РЦ КККОД — BI-RADS 1.

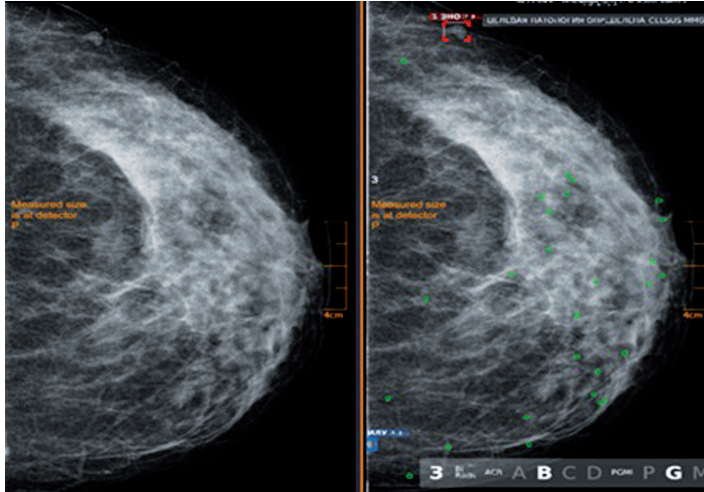
– завышение категории, ИИ интерпретирует артефакты или утолщение кожи как патологию (рисунок 5).

Также специалистами РЦ отмечено, что в ряде случаев ИИ трудно различает участки нарушения архитектоники и образования низкой интенсивности, не учитывает асимметрию структуры, некорректно оценивает качество снимков по критериям PGMI

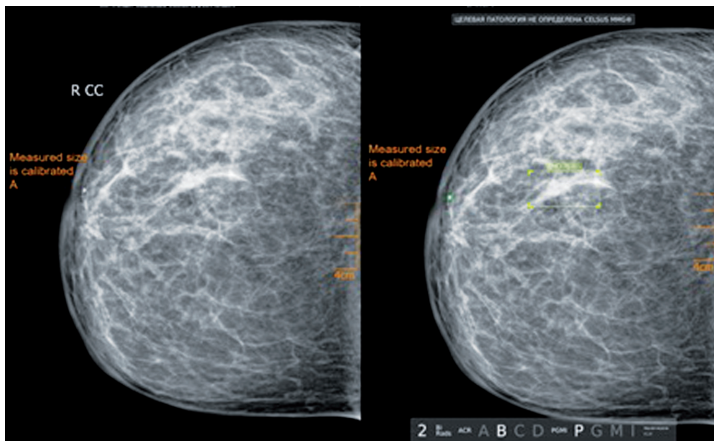
(рисунки 6–11). Но это достаточно редкие случаи.

Остается открытым вопрос возможности ИИ проводить анализ ММГ изображений в динамике и сопоставлять изменения в двух проекциях. Данный функционал является важным критерием при формировании заключения о категории BI-RADS, но в настоящее время в ряде случаев остается не реализованным.

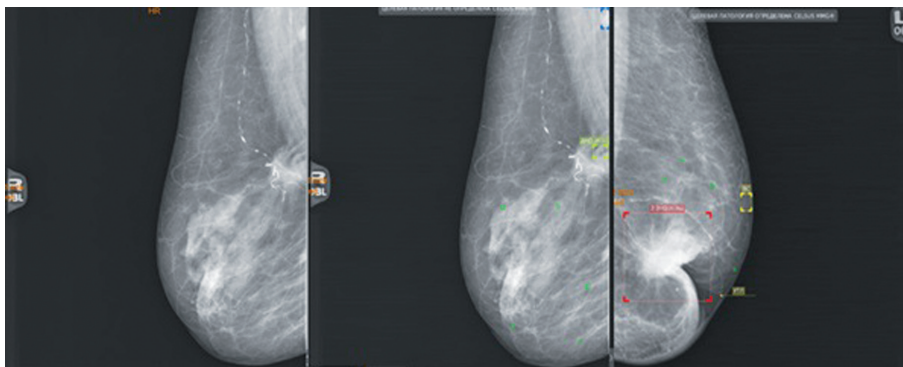




**Рисунок 6 — ИИ — BI-RADS 4, РЦ КККОД — BI-RADS 2 (интрамаммарный лимфатический узел).**



**Рисунок 7 — ИИ — BI-RADS 2, РЦ КККОД — BI-RADS 4 (верифицированный протоковый рак G3, HR(-)Her2(+)).**



**Рисунок 8 — ИИ не видит изменения справа.**

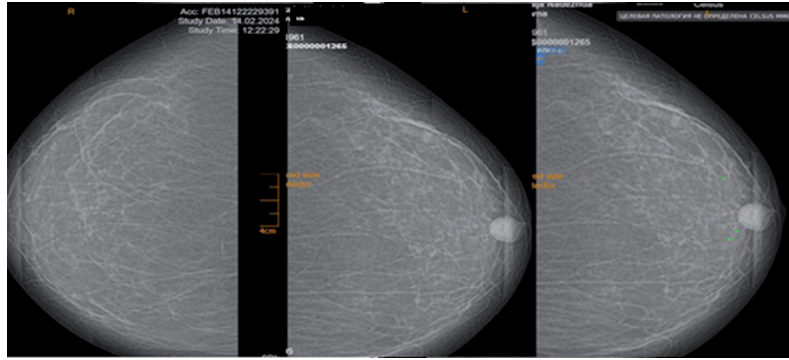


Рисунок 9 — ИИ принял образование слева за сосок.

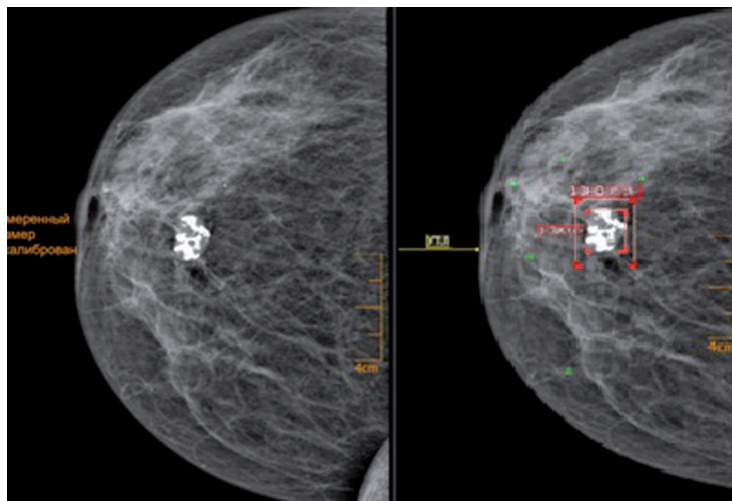


Рисунок 10 — ИИ — BI-RADS 5, РЦ КККОД — инволютивная фиброаденома.

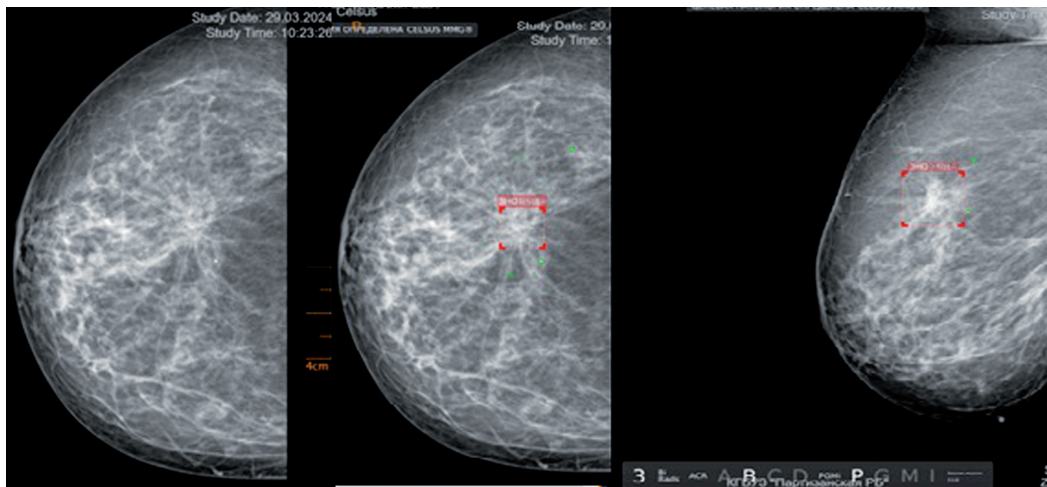


Рисунок 11 — ИИ — BI-RADS 3 (выделяет как ЗНО), РЦ КККОД — BI-RADS 5.

## ОБСУЖДЕНИЕ

ИИ на сегодняшний день становится неотъемлемым помощником в работе врачей-рентгенологов. По данным коллектива авторов, опубликовавших работу «Итоги внедрения искусственного интеллекта в здравоохранении России», больше всего медицинских изделий с ИИ зарегистрировано для проведения ММГ исследований — 28, что говорит о большой востребованности ИИ-сервисов при проведении популяционных исследований [14]. Ретроспективные исследования показали, что использование систем ИИ в скрининге РМЖ может облегчить проблемы с рабочей нагрузкой на врачей-рентгенологов, при этом не потеряв эффективность этого скрининга, сохранив чувствительность и снизив количество ложноположительных результатов [15]. Коллектив авторов из научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий совместно с департаментом здравоохранения города Москвы статистически доказали, что использование программного обеспечения на основе технологий ИИ с целью автономного первого описания цифровых маммограмм способно обеспечить качество диагностики, не уступающее двойному описанию снимков врачами-рентгенологами и даже превышающее его [16].

Кроме того, возможность для врача-рентгенолога увидеть разметку и заключение ИИ помогает отметить подозрительные образования и сократить время на формирование заключения [17]. Карпов О.Э., Броннов О.Ю., Капнинский А.А. и др. в своей работе на примере ИИ «Цельс» сравнивали заключения ИИ и врачей-рентгенологов [18]. Чувствительность ИИ при обнаружении злокачественной опухоли составила 92%. Авторами также отмечен функционал в виде обозначения подозрительных образований различными цветами в зависимости тяжести патологии и подведен итог, что технологии ИИ имеют большой потенциал в обнаружении ЗНО и могут быть эффективным помощником принятия решения для врачей-рентгенологов, занимающихся маммографией.

При проведении обзора не удалось найти публикаций по тематике применения систем поддержки принятия врачебных решений при ММГ исследованиях в субъектах Российской Федерации на предмет анализа использования

врачами-рентгенологами ИИ в реальной клинической практике путем сопоставления проведенных ММГ исследований и поданных на оплату реестров счетов о проведенной услуге. В регионах наблюдается большой разброс стоимости тарифов ОМС на описание и интерпретацию данных ММГ исследования с использованием ИИ. Так, в Ленинградской области стоимость услуги составляет 818,87 руб., а в Астраханской области — 221,8 руб. В Сибирском федеральном округе Красноярский край опережает Кемеровская область, где стоимость тарифа составляет 515 руб. [19].

## ВЫВОДЫ

Таким образом, несмотря на имеющиеся трудности по внедрению и использованию сервисов ИИ, медицинские изделия для принятия врачебных решений на базе ИИ могут позволить решить такие задачи, как снижение временных затрат на описание исследований, повышение качества оказания медицинской помощи, уменьшение нагрузки на врачей. Так, в Красноярском крае выявляемость РМЖ на I–II стадии выросла с 77,8% в 2023 году до 79,2% по итогам 7 месяцев 2024 года, количество направленных в РЦ снимков увеличилось на 40,8%, а дискордантность составила 26,5% (2023 год — 28,4%). Также специалистами МО отмечается положительная динамика в части снижения нагрузки при двойном прочтении маммограмм и повышении самоконтроля при выставлении заключений BI-RADS в связи с возможностью использования обозначений квадрантов находки и заключений, сделанных ИИ.

При этом стоит отметить, что результат внедрения ИИ напрямую зависит от технической инфраструктуры: каналы связи, от которых зависит скорость передачи результатов исследования от медицинского оборудования до РАМИ, ИИ и обратной связи; серверная мощность, на которой работает ИИ, и мощность, на которой работают РАМИ; интеграции сервиса ИИ и МИС.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Источники финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении поисково-аналитической работы и подготовке публикации.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Каприн А.Д., Александрова Л.М., Старинский В.В., Мамонтов А.С. Технологии диагностики и скрининга в раннем выявлении злокачественных новообразований // Онкология. Журнал им. П.А. Герцена. — 2018. — №1. — С.34-40. [Kaprin AD, Aleksandrova LM, Starinsky VV, Mamontov AS. Technologies for early diagnosis and screening in the early detection of malignant neoplasms. P.A. Herzen Journal of Oncology. 2018; 7: 34-40. (In Russ.)] doi: 10.17116/onkolog20187134-40.
2. Global Cancer Observatory. France: Data visualization tools for exploring the global cancer burden in 2022. International Agency for Research on Cancer: World Health Organization Available from: <https://gco.iarc.fr/today/home>. accessed 27.07.2024.
3. Зуков Р.А., Сафонцев И.П., Клименок М.П. и др. Состояние онкологической помощи населению Красноярского края в 2022 году. — К.: КрасГМУ; 2023. [Zukov RA, Safontsev IP, Klimenok MP, et al. The state of cancer care for the population of the Krasnoyarsk Territory in 2022. Krasnoyarsk: KrasSMU; 2023 (In Russ.)]
4. Chen Y, James JJ, Michalopoulou E, Darker IT, et al. Performance of Radiologists and Radiographers in Double Reading Mammograms: The UK National Health Service Breast Screening Program. *Radiology*. 2023; 306(1); 102-109. doi: 10.1148/radiol.212951.
5. Gommers JJJ, Abbey CK, Strand F, Taylor-Phillips S, et al. Optimizing the Pairs of Radiologists That Double Read Screening Mammograms. *Radiology*. 2023; 309(1); e222691. doi: 10.1148/radiol.222691.
6. Taylor-Phillips S, Jenkinson D, Stinton C, Wallis MG, et al. Double Reading in Breast Cancer Screening: Cohort Evaluation in the CO-OPS Trial. *Radiology*. 2018; 287(3); 749-757. doi: 10.1148/radiol.2018171010.
7. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 9 июня 2020 г. №560н «Об утверждении Правил проведения рентгенологических исследований». Доступно по: <https://base.garant.ru/74632238>. Ссылка активна на 27.07.2024. [Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated June 9, 2020 №560n «On approval of the Rules for conducting x-ray examinations». <https://base.garant.ru/74632238>. accessed 27.07.2024. (In Russ.)]
8. Приказ Министерства здравоохранения Красноярского края от 30.09.2021 №1824-орг «Об организации Референс-центра для двойного чтения маммографических исследований» Доступно по: <http://onkolog24.ru/ru/to-specialists/normative-base>. Ссылка активна на 27.07.2024. [Order of the Ministry of Health of the Krasnoyarsk Territory dated September 30, 2021 №1824-org «On the organization of a Reference Center for double reading of mammography studies». <http://onkolog24.ru/ru/to-specialists/normative-base>. accessed 27.07.2024. (In Russ.)]
9. Приказ Министерства здравоохранения Красноярского края от 06.08.2019 №936-орг «О маршрутизации пациенток с подозрением на рак молочной железы». Доступно по: <http://onkolog24.ru/ru/to-specialists/normative-base>. Ссылка активна на 27.07.2024. [Order of the Ministry of Health of the Krasnoyarsk Territory dated 08/06/2019 №936-org «On the routing of patients with suspected breast cancer». <http://onkolog24.ru/ru/to-specialists/normative-base>. accessed 27.07.2024. (In Russ.)]
10. Ahn JS, Shin S, Yanf Su-A, Park EK, et al. Artificial Intelligence in Breast Cancer Diagnosis and Personalized Medicine. *J Breast Cancer*. 2023; 26(5); 405-435. doi: 10.4048/jbc.2023.26.e45.
11. Приказ Министерства здравоохранения Красноярского края от 22.04.2024 №627-орг «О применении информационных технологий (систем) поддержки принятия врачебных решений при проведении маммографического исследования». Доступно по: <http://onkolog24.ru/ru/to-specialists/normative-base>. Ссылка активна на 27.07.2024. [Order of the Ministry of Health of the Krasnoyarsk Territory dated April 22, 2024 №627-org «On the use of information technologies (systems) to support medical decision-making when conducting mammography examinations». <http://onkolog24.ru/ru/to-specialists/normative-base>. accessed 27.07.2024. (In Russ.)]
12. Постановление Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2023 г. №2353 (с изменениями и дополнениями). «О Программе государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи на 2024 год и на плановый период 2025 и 2026 годов». Доступно по: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408223431>. Ссылка активна на 27.07.2024. [Decree of the Government of the Russian Federation of December 28, 2023 №2353 (as

- amended and supplemented). «On the program of state guarantees of free medical care to citizens for 2024 and for the planning period of 2025 and 2026». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408223431>. accessed 27.07.2024. (In Russ.)]
13. Письмо Министерства здравоохранения Российской Федерации от 19 февраля 2024 г. №31-2/200 «О методических рекомендациях по способам оплаты медицинской помощи за счет средств обязательного медицинского страхования». Доступно по: <https://base.garant.ru/408586489>. Ссылка активна на 27.07.2024. [Letter of the Ministry of Health of the Russian Federation dated February 19, 2024 №31-2/200 «On methodological recommendations on methods of paying for medical care using compulsory health insurance funds». <https://base.garant.ru/408586489>. accessed 27.07.2024. (In Russ.)]
  14. Ваньков В.В., Артемова О.Р., Карпов О.Э. и др. Итоги внедрения искусственного интеллекта в здравоохранении России // Врач и информационные технологии. — 2024. — №3. — С.32-43. [Vankov VV, Artemova OR, Karpov OE, et al. Results of the implementation of artificial intelligence in the Russian healthcare. Medical doctor and information technology. 2024; 3: 32-43 (In Russ.)] doi: 10.25881/18110193\_2024\_3\_32.
  15. Lauritzen AD, Lillholm M, Lyng E, Nielsen M, et al. Early Indicators of the Impact of Using AI in Mammography Screening for Breast Cancer. Radiology. 2024; 311(3); e232479. doi: 10.1148/radiol.232479.
  16. Васильев Ю.А., Тыров И.А., Владзимирский А.В. и др. Двойной просмотр результатов маммографии с применением технологий искусственного интеллекта: новая модель организации массовых профилактических исследований. 2024. 4: 93-104. [Vasilev YA, Tyrov IA, Vladzmyrskyy AV, et al. Double-reading mammograms using artificial intelligence technologies: A new model of mass preventive examination organization. 2024; 4: 93-104. (In Russ.)] doi: 10.17816/DD321423.
  17. Rodríguez-Ruiz A, Krupinski E, Mordang JJ, Schilling K, et al. Detection of Breast Cancer with Mammography: Effect of an Artificial Intelligence Support System. Radiology. 2019; 290(2); 305-314. doi: 10.1148/radiol.2018181371.
  18. Карпов О.Э., Броннов О.Ю., Капнинский А.А. и др. Компаративное исследование результатов анализа данных цифровой маммографии системы на основе искусственного интеллекта «Цельс» и врачей-рентгенологов. 2021. 16: 86-92. [Karpov OE, Bronov OY, Kapninskiy AA, et. al. Comparative study of data analysis results of digital mammography ai-based system «Celsus» and radiologists. analysis of clinical cases. 2021; 16: 86-92. (In Russ.)] doi: 10.25881/20728255\_2021\_16\_2\_86.
  19. Территориальный фонд обязательного медицинского страхования Кемеровской области — Кузбасса. С 2016 — 2024 ТФОМС Кемеровской области — Кузбасса. Доступно по: <https://www.kemoms.ru/novosti/53927/>. Ссылка активна на 25.10.2024. [Territorial'nyj fond obyazatel'nogo medicinskogo strahovaniya Kemerovskoj oblasti — Kuzbassa. С 2016 — 2024 TFOMS Kemerovskoj oblasti — Kuzbassa. <https://www.kemoms.ru/novosti/53927/>. accessed 25.10.2024. (In Russ.)]

