

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Известия  
Юго-Западного  
государственного университета**

**Серия: Управление, вычислительная  
техника, информатика. Медицинское  
приборостроение**

**Научный журнал**

Том 11 № 4 / 2021

---

**Proceedings  
of the Southwest  
State University**

**Series: Control, Computer Engineering,  
Information Science. Medical  
Instruments Engineering**

**Scientific Journal**

Vol. 11 № 4 / 2021



**Известия Юго-Западного  
государственного университета.  
Серия: Управление, вычислительная  
техника, информатика. Медицинское приборостроение  
(Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta.  
Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika.  
Meditinskoe priborostroenie)**

Научный рецензируемый журнал

Основан в 2011 г.

Цель издания – публичное представление научно-технической общественности научных результатов фундаментальных, проблемно-ориентированных научных исследований в таких областях, как информационные и интеллектуальные системы, мехатроника и робототехника, распознавание и обработка изображений, системный анализ и принятие решений, моделирование в медицинских и технических системах, приборы и методы контроля природной среды.

В журнале публикуются оригинальные работы, обзорные статьи, рецензии и обсуждения, соответствующие тематике издания.

Публикация статей в журнале для авторов бесплатна.

Целевая аудитория: научные работники, профессорско-преподавательский состав образовательных учреждений, экспертное сообщество, молодые ученые, аспиранты, заинтересованные представители широкой общественности.

Журнал придерживается политики открытого доступа. Полнотекстовые версии статей доступны на сайте журнала, научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

Журнал включен в перечень ведущих научных журналов и изданий ВАК Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора наук, кандидата наук по следующим научным специальностям:

Приборы и методы измерения (по видам измерений) (технические науки) – 05.11.01.

Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий (технические науки) – 05.11.13.

Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки) – 05.11.17

Системы, сети и устройства телекоммуникаций (технические науки) – 05.12.13.

Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям) (технические науки) – 05.13.01.

#### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Емельянов Сергей Геннадьевич**, д-р техн. наук, профессор, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, ректор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск, Россия)

#### ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

**Томакова Римма Александровна**, д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск, Россия)

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Жизняков Аркадий Львович**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (г. Муром, Россия);

**Жусубалиев Жаныбай Турсунбаевич**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск, Россия);

**Зайченко Кирилл Владимирович**, д-р техн. наук, профессор, ФГБУН «Институт аналитического приборостроения Российской академии наук» (г. Санкт Петербург, Россия);

**Зо Зо Тун**, канд. техн. наук, профессор, Военный институт сестринских и парамедицинских наук (г. Янгон, Мьянма).

**Зотов Игорь Валерьевич**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск, Россия);

**Истомина Татьяна Викторовна**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный гуманитарно-экономический университет» (г. Москва, Россия);

**Кореневский Николай Алексеевич**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск, Россия);

**Коровин Евгений Николаевич**, д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (г. Воронеж, Россия);

**Маслак Анатолий Андреевич**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» (г. Краснодар, Россия);

**Разинкин Константин Александрович**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (г. Воронеж, Россия);

**Риад Таха Аль-Касасбех**, д-р техн. наук, профессор, Университет Аль-Балка (г. Амман, Иордания);

**Серегин Станислав Петрович**, д-р мед. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск, Россия);

**Сизов Александр Семенович**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск, Россия);

**Тарасов Сергей Павлович**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Южный Федеральный университет» (г. Ростов-на-Дону, Россия);

**Титов Виталий Семенович**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск, Россия);

**Филист Сергей Алексеевич**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск, Россия);

**Филонович Александр Владимирович**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск, Россия);

**Чернов Николай Николаевич**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Южный Федеральный университет» (г. Ростов-на-Дону, Россия);

**Чопоров Олег Николаевич**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (г. Воронеж, Россия)

**Учредитель и издатель:**  
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

**Адрес учредителя, издателя и редакции:**  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94  
**Телефон:** +7(4712) 22-25-26,  
**Факс:** +7(4712) 50-48-00.  
**E-mail:** rio\_kursk@mail.ru

**Наименование органа, зарегистрировавшего издание:**  
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (ПИ №ФС77-82285 от 23.11.2021).

**ISSN** 2223-1536 (Print)  
**Префикс DOI:** 10.21869  
**Сайт журнала:** <https://swsu.ru/izvestiya/seriesivt/>

© Юго-Западный государственный университет, 2021

 Материалы журнала доступны под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

**Типография:**

Полиграфический центр Юго-Западного государственного университета, 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

**Подписка и распространение:**  
журнал распространяется по подписке.  
Подписной индекс журнала 44288  
в объединенном каталоге «Пресса России».

**Периодичность:** четыре раза в год

**Свободная цена.**

Оригинал-макет подготовлен О. В. Кофановой

Подписано в печать 20.12.2021. Формат 60x84/8.  
Дата выхода в свет 30.12.2021.  
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 26,8.  
Тираж 1000 экз. Заказ 76.

16+



**Proceedings of the Southwest State University.  
Series: Control, Computer Engineering,  
Information Science. Medical Instruments Engineering**

Peer-reviewed scientific journal

Published since 2011

These Proceedings present the results of scientific fundamental and applied research in such areas as information and intelligent systems; mechatronics, robotics; image recognition and processing; system analysis and decision making; simulation in medical and technical systems; devices and methods for monitoring the natural environment.

The journal publishes scientific articles, critical reviews, reports and discussions in the above mentioned areas.

All papers are published free of charge.

Target readers are scientists, university professors and teachers, experts, young scholars, graduate and post-graduate students, stakeholders and interested public.

The Editorial Board of the journal pursues open access policy. Complete articles are available at the journal web-site and at eLIBRARY.RU .

The journal is included into the Register of the Top Scientific Journals of the Higher Attestation Commission of the Russian Federation as a journal recommended for the publication of the findings made by the scientists working on a doctoral or candidate thesis in the following areas:

Devices and methods of measurement (by type of measurement) (technical Sciences) – 05.11.01.

Devices and methods of control of the natural environment, substances, materials and products (technical Sciences) – 05.11.13.

Devices, systems and medical devices (technical Sciences) – 05.11.17.

Telecommunication systems, networks and devices (technical Sciences) – 05.12.13.

System analysis, management and information processing (by industry) (technical Sciences) – 05.13.01.

**EDITOR-IN-CHIEF**

**Sergei G. Emelianov**, Dr. of Sci. (Engineering), Correspondent Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, a Holder of the Russian Government Prize in the Field of Science and Engineering, Rector of the Southwest State University (Kursk, Russia)

**DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF**

**Rimma A. V. Tomakova**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor,  
Southwest State University (Kursk, Russia)

**EDITORIAL BOARD**

**Nikolay N. Chernov**, Dr. of Sci. (Engineering),  
Professor, Southern Federal University  
(Rostov-on-Don, Russia);

**Oleg N. Choporov**, Dr. of Sci. (Engineering),  
Professor, Voronezh State Technical University  
(Voronezh, Russia);

**Sergey A. Filist**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor,  
Southwest State University (Kursk, Russia);

**Alexander V. Filonovich**, Dr. of Sci. (Engineering),  
Professor, Southwest State University (Kursk, Russia);

**Tatiana V. Istomina**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Moscow State University of Humanities and Economics (Moscow, Russia);

**Nikolay A. Korenevsky**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Southwest State University (Kursk, Russia);

**Evgeny N. Korovin**, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia);

**Anatoly A. Maslak**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Kuban State University (Krasnodar, Russia);

**Konstantin A. Razinkin**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia);

**Riad Taha Al-Kasasbeh**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Al-Balqa University (Amman, Jordan);

**Stanislav P. Seregin**, Dr. of Sci. (Medical), Professor, Southwest State University (Kursk, Russia);

**Alexander S. Sizov**, Dr. of Sci. (Engineering) Professor, Southwest State University (Kursk, Russia);

**Sergey P. Tarasov**, Dr. of Sci. (Engineering) Professor, Southern Federal University (Rostov-on-Don, Russia);

**Vitaly S. Titov**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Southwest State University (Kursk, Russia);

**Kirill V. Zaichenko**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Institute for Analytical Instrumentation Russian Academy of Sciences (St. Petersburg, Russia);

**Arkady L. Zhiznyakov**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Murom Institute (branch) Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov (Murom, Russia);

**Zhanybai T. Zhusubaliev**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Southwest State University (Kursk, Russia);

**Igor V. Zotov**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Southwest State University (Kursk, Russia);

**Zo Zo Tun**, Cand. of Sci. (Engineering), Professor, Military Institute of Nursing and Paramedical Sciences (Yangon, Myanmar)

**Founder and Publisher:**  
“Southwest State University”

**Official address of the Founder, Publisher and Editorial Office:**

50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

**Phone:** (+74712) 22-25-26,  
**Fax:** (+74712) 50-48-00.  
**E-mail:** rio\_kursk@mail.ru

**The Journal is officially registered by:**  
The Federal Supervising Authority in the Field of Communication, Information Technology and Mass media  
(PI №FS77-82285 of 23.11.2021).

**ISSN** 2223-1536 (Print)  
**DOI Prefix:** 10.21869  
**Web-site:** <https://swsu.ru/izvestiya/seriesivt/>

**Printing office:**

Printing Center  
of the Southwest State University,

50 Let Oktyabrya str., 94,  
Kursk 305040, Russian Federation

16+

**Subscription and distribution:**  
the journal is distributed by subscription.  
Subscription index 44288  
in the General Catalogue “Pressa Rossii”

**Frequency:** Quarterly

**Free price**

Original lay-out design: O. V. Kofanova

© Southwest State University, 2021

 Publications are available in accordance with  
the Creative Commons Attribution 4.0 License

Signed for printing 20.12.2021. Format 60x84/8.

Release date 30.12.2021.

Offset paper. Printer's sheets: 26,8.

Circulation 1000 copies. Order 76.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Оригинальные статьи

<b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ.....</b>	<b>8</b>
Распределенный алгоритм извлечения текстовой информации из новостных сайтов с использованием технологий больших данных .....	8
Качанов Ю. А., Кравченя П. Д., Кузнецов М. А., Кузнецова А. С., Гилка В. В.	
Информационная система оценки профессиональных рисков в ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» .....	26
Барков А. Н.	
Повышение достоверности определения источника фрагментированных сообщений за счёт использования методов анализа времени поступления отдельных фрагментов.....	46
Таныгин М. О., Хемраев Д., Казакова О. В.	
<b>МЕХАТРОНИКА, РОБОТОТЕХНИКА.....</b>	<b>61</b>
Исследование засаливания рабочей части стоматологического врачающегося режущего инструмента с модифицированной металлической связкой .....	61
Половнева Л. В., Чуев В. П.	
Разработка системы для исследований в области лазерной цитометрии.....	76
Кравчук Д. А., Воронина К. А.	
<b>РАСПОЗНАВАНИЕ И ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ.....</b>	<b>85</b>
Автоматизированная система для классификации снимков видеопотоков .....	85
Филист С. А., Шевцов М. В., Белозеров В. А., Кондрашов Д. С., Горбачев И. Н., Корсунский Н. А.	
Методы улучшения выделенной области изображения при быстродействующей обработке символьной информации.....	106
Конаныхин А. Ю., Конаныхина Т. Н., Панищев В. С.	
<b>СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ.....</b>	<b>120</b>
Выбор метода приоритизации тестовых наборов при регрессионном тестировании программной системы .....	120
Аникина Е. И., Тембо И.	
Научно-практическая конференция как педагогическая технология профессиональной подготовки IT-специалистов в университете .....	130
Томакова Р. А., Томаков В. И., Брежнев А. В.	
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕДИЦИНСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ .....</b>	<b>146</b>
Количественная оценка защитных механизмов организма по его оксидантному статусу .....	146
Кореневский Н. А., Родионова С. Н., Крикунова Е. В., Стародубцева Л. В., Скиданчук М. В.	
Использование показателей, характеризующих адаптационные механизмы для оценки уровня защиты организма от воздействия внешних факторов риска .....	163
Сафонов Р. И., Родионова С. Н., Крикунова Е. В., Стародубцева Л. В., Сергеева С. С., Титова А. В.	
Метод идентификации заболевания пчелиных семей варроатозом с использованием ассоциативно-онтологического анализа инфологической системой информационно-аналитического управления пчеловодческими хозяйствами .....	180
Бабанин И. Г., Севрюков А. Е., Хмелевская А. В.	
Алгоритм настройки нечеткого логического вывода в медицинских информационных системах, основанных на знаниях .....	196
Голосовский М. С., Юдин А. Б., Медведев В. Р., Васягин С. Н., Евтушенко Е. В.	
Разработка метода и архитектуры мобильного приложения для удаленного мониторинга текущего состояния человека на основе данных жизненно важных показателей с датчиков .....	212
Гилка В. В., Орлова Ю. А., Хужахметова Д. Х., Качанов Ю. А., Кузнецова А. С.	
<b>К сведению авторов .....</b>	<b>231</b>

## CONTENT

### Original articles

<b>INFORMATION AND INTELLIGENT SYSTEMS .....</b>	<b>8</b>
Distributed Algorithm for Extracting Text Information from News Sites Using Big Data Technologies .....	8
<i>Kachanov Y. A., Kravchenya P. D., Kuznetsov M. A., Kuznetsova A. S., Gilka V. V.</i>	
Information System of Professional Risk Assessment at the Southwest State University.....	26
<i>Barkov A. N.</i>	
Increasing the Reliability of Determining the Source of Fragmented Messages by Using Methods for Analyzing the Time of Receipt of Individual Fragments.....	46
<i>Tanygin M. O., Hemrayev D., Kazakova O. V.</i>	
<b>MECHATRONICS, ROBOTICS.....</b>	<b>61</b>
Study of Clogging of the Working Part Dental Rotary Cutting Tool with Modified Metal Bond .....	61
<i>Polovneva L. V., Chuev V. P.</i>	
Development of a System for Research in the Field of Laser Cytometry .....	76
<i>Kravchuk D. A., Voronina K. A.</i>	
<b>IMAGE RECOGNITION AND PROCESSING .....</b>	<b>85</b>
Automated System For Classifying Images of Video Streams.....	85
<i>Filist S. A., Shevtsov M. V., Belozerov V. A., Kondashov D. S., Gorbachev I. N., Korsunsky N. A.</i>	
A Method for Improving the Selected Area of the Image with High-Speed Processing of Symbolic Information.....	106
<i>Konanykhin A. Yu., Konanykhina T. N., Panishchev V. S.</i>	
<b>SYSTEM ANALYSIS AND DECISION-MAKING .....</b>	<b>120</b>
Choosing a Method of Test Cases Prioritizing for Regression Testing of a Software System .....	120
<i>Anikina E. I., Tembo I.</i>	
Discussion As a Pedagogical Technology for the Development of Soft Skills of Future IT Specialists.....	130
<i>Tomakova R. A., Tomakov V. I., Brezhnev A. V.</i>	
<b>MODELING IN MEDICAL AND TECHNICAL SYSTEMS.....</b>	<b>146</b>
Quantitative Assessment of the Body's Defense Mechanisms by its Oxidative Status.....	146
<i>Korenevsky N. A., Rodionova S. N., Krikunova E. V., Starodubtseva L. V., Skidanchuk M. V.</i>	
Use of Indicators Characterizing Adaptation Mechanisms to Assess the Level of Protection of the Body From External Risk Factors .....	163
<i>Safronov R. I., Rodionova S. N., Krikunova E. V., Starodubtseva L. V., Sergeeva S. S., Titova A. V.</i>	
Method of Identification of the Disease of Bee Colonies with Varroatosis Using Associative-Ontological Analysis by the Infological System of Information and Analytical Management of Beekeeping Farms.....	180
<i>Babanin I. G., Sevryukov A. E., Khmelevskaya A. V.</i>	
Algorithm for Tuning Fuzzy Inference in Medical Information Systems Based on Knowledge.....	197
<i>Golosovskiy M. S., Yudin A. B., Medvedev V. R., Vasyagin S. N., Yevtushenko E. V.</i>	
Development of Method and Architecture of a Mobile Application for Remote Monitoring of the Current State of a Person, Based on Vital Signs Data Detected from Sensors.....	212
<i>Gilka V. V., Orlova Y. A., Khuzhakhmetova D. K., Kachanov Y. A., Kuznetsova A. S.</i>	
<b>Information for Authors.....</b>	<b>231</b>

### Распределенный алгоритм извлечения текстовой информации из новостных сайтов с использованием технологий больших данных

Ю. А. Качанов<sup>1</sup>✉, П. Д. Кравченя<sup>1</sup>, М. А. Кузнецов<sup>1</sup>,  
А. С. Кузнецова<sup>1</sup>, В. В. Гилка<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Волгоградский государственный технический университет  
пр. Ленина 28, г. Волгоград 400005, Российская Федерация

✉ e-mail: yura\_1234@mail.ru

**Цель исследования.** Целью данной работы является разработка алгоритма и программной системы, позволяющей выполнять в распределенном режиме извлечение информации из новостных сайтов с использованием технологий больших данных.

**Методы.** Извлечение ключевых концепций содержания новостных сайтов помогает алгоритмам искусственного интеллекта исследовать экономические, политические и социальные явления в различных контекстах. Эта задача близка к проблеме реферирования текста, которая активно изучается в современных исследованиях. Но значительно меньше работ затрагивают алгоритмы больших данных для реферирования текста. Мы предлагаем новый алгоритм для эффективного извлечения текстовых значений из большого количества новостных сайтов, основанный на платформе больших данных Apache Spark. Смысл новостей анализируется с помощью Google BERT – современной архитектуры нейронной сети для обработки естественного языка. Различные группы новостей отделяются друг от друга с помощью алгоритма кластеризации k-средних. Количество кластеров определяется автоматически с использованием метода статистики разрыва. Содержимое сайтов извлекается с помощью браузеров Chrome, управляемых Selenium WebDriver в распределенном режиме.

**Результаты.** В статье были приведены подробные алгоритмы реализованной программной системы, такие как математическая модель, архитектура программной распределенной системы.

**Заключение.** Оценка нашего алгоритма с помощью метрики ROUGE демонстрирует удовлетворительное качество резюмирования новостных текстов.

---

**Ключевые слова:** большие данные; Apache Spark; Google BERT; резюмирование текста; обработка веб-страниц.

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

**Для цитирования:** Распределенный алгоритм извлечения текстовой информации из новостных сайтов с использованием технологий больших данных / Ю. А. Качанов, П. Д. Кравченя, М. А. Кузнецов, А. С. Кузнецова, В. В. Гилка // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 8–25. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-8-25>

Поступила в редакцию 01.10.2021

Подписана в печать 28.11.2021

Опубликована 20.12.2021

## Distributed Algorithm for Extracting Text Information from News Sites Using Big Data Technologies

Yurii A. Kachanov<sup>1</sup> , Pavel D. Kravchenya<sup>1</sup>, Mikhail A. Kuznetsov<sup>1</sup>,  
Agnessa S. Kuznetsova<sup>1</sup>, Vadim V. Gilka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Volgograd State Technical University  
28 V. I. Lenina av., Volgograd 400005, Russian Federation

 e-mail: yura\_1234@mail.ru

### Abstract

**Purpose of the research.** The purpose of this work is to develop an algorithm and a software system that allows to perform in a distributed mode the extraction of information from news sites using big data technologies.

**Methods.** Extracting the key concepts of news sites content helps artificial intelligent algorithms to investigate economic, political, and social phenomena in different contexts. This task is close to the text summarization problem which is being studied actively in modern research papers. But significantly less of the works touch on the big data algorithms for text summarization. We propose a new algorithm for effective text meaning extraction from a large count of news sites based on big data framework Apache Spark. The meaning of news is analyzed with Google BERT – the modern neural network architecture for natural language processing. Different groups of news are separated from each other with the k-means clusterization algorithm. The number of clusters is determined automatically using the gap statistic method. The content of sites scrapes by chrome browsers driven Selenium WebDriver in the distributed regime.

**Results.** The article presented detailed algorithms for the implemented software system, such as a mathematical model, architecture of a software distributed system.

**Conclusion.** The evaluation of our algorithm using the ROUGE metric demonstrates satisfactory summarization quality of news texts.

**Keywords:** big data; Apache Spark; Google BERT; text summarization; Web scraper.

**Conflict of interest:** The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Kachanov Y. A., Kravchenya P. D., Kuznetsov M. A., Kuznetsova A. S., Gilka V. V. Distributed Algorithm for Extracting Text Information from News Sites Using Big Data Technologies. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2021; 11(4): 8–25. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-8-25>

Received 01.10.2021

Accepted 28.11.2021

Published 20.12.2021

\*\*\*

## Введение

Решение проблемы извлечения основного контента из текстов имеет приложения в различных областях. Это связано с постоянно растущим объемом информации в мире и необходимостью ее эффективной обработки. Возможность извлекать основной контент новостных сайтов позволяет каждому отслеживать состояние экономической, политической и социальной ситуации в режиме реального времени.

Анализ текста и составление краткого и понятного резюме с сохранением ключевого информационного содержания и общего смысла составляют основу задачи реферирования текста. Резюмирование текста делится на абстрактное и экстрактивное. Экстрактивное реферирование используется для извлечения ряда предложений из текста, которые представляют основное содержание текста и остаются такими же, как в тексте. Цель абстрактного реферирования состоит в том, чтобы извлечь из текста основную информацию и применить ее для создания нового набора предложений. Задача реферирования текста очень близка к задаче экстрактивного реферирования, однако не требует генерации предложений. Достаточно получить окончательную информацию в векторном виде.

В последнее время для решения различных задач NLP (обработка текстов на естественном языке) все чаще используются нейросетевые методы. Это связано

с появлением архитектуры преобразователя [2] и различных моделей на ее основе, которые предварительно обучаются на больших объемах текстовых данных. Одной из самых популярных является архитектура модели Google BERT (дву направленная нейронная сеть-кодировщик) [3]. Многие современные статьи рассматривают ее применение для различных задач анализа данных. Также данная модель показывает хорошие результаты при решении задач реферирования текста.

Однако одним из недостатков архитектуры нейронной сети BERT является малая длина последовательности входных токенов, что объясняется квадратичной сложностью стандартного механизма внимания. Это ограничивает длину входных текстов для BERT и затрудняет использование для анализа больших объемов данных. Это заставляет исследователей искать альтернативные способы использования преимуществ трансформенных архитектур для обобщения задач с большими данными.

## Материалы и методы

Анализ современных работ показывает, что для решения задачи реферирования текста используются разные подходы. Достаточно популярны нейросетевые методы, неплохие результаты показывают нейросетевые приложения для реферирования текста. Они основаны как на классических моделях нейронных сетей, таких как персептроны, LSTM [4;

5; 6], так и на новых архитектурах на основе трансформеров [7]. Рекуррентные нейронные сети обладают эффектом памяти и могут учитывать порядок слов в предложениях. Это позволяет авторам получать хорошие результаты. Однако данные нейронные сети имеет тенденцию забывать предыдущую контекстную информацию, что приводит к нехватке исходных данных. Это снижает точность обобщений. Нейронные сети на основе преобразователей лишены этих недостатков и хорошо справляются с задачами реферирования. В то же время модель BERT и ее разновидности (RoBERTa) являются наиболее популярными, с ними выполнены практически все работы, демонстрирующие лучшее качество реферирования [8; 9; 10; 11; 12]. Также большим преимуществом BERT является наличие предварительно обученных моделей для разных языков, что позволяет исследователям применять их для многоязычных задач NLP [13].

Однако применение моделей нейронных сетей для обработки больших данных затруднено. Поэтому задачи реферирования для больших данных основаны в основном на классических методах машинного обучения. Наиболее популярны термин «частота слова – обратная частота документа (TF-IDF) [14] и кластерные методы [15; 16]. Эти методы и их различные модификации позволяют достичь удовлетворительной точности, однако они хуже по сравнению с методами нейронных сетей.

В последнее время появилось большое количество так называемых эффективных трансформеров [17]. Их авторы пытались различными способами снизить сложность механизма внимания и увеличить длину входной последовательности. Однако пока эти архитектуры не популярны. Также для них отсутствуют предварительно обученные модели, а самообучение таких архитектур требует больших вычислительных ресурсов.

### Математическая модель

Рассмотрим некоторый анализируемый текст как множество  $S$ , состоящее из предложений  $s \in S$ . Каждое слово в предложении можно разбить на токены  $t \in T$ . Поэтому одно предложение можно представить как последовательность токенов длины  $M$ :

$$s = \{t_n\}_{n=1}^M.$$

Пусть  $g(x)$  – функция, преобразующая токен в некоторое целое число:

$$g: T \rightarrow \mathbb{N}.$$

Поэтому токены последовательности  $t_s \in \mathbb{N}^M$  для одного предложения могут быть представлены как

$$t^s = \{g(t_n)\}_{n=1}^M.$$

Эта последовательность может быть преобразована в матрицу действительных чисел с учетом семантики слов в предложении. Это преобразование может быть реализовано функцией  $f(x)$ , которая присваивает вектор длины  $N$  каждому токену:

$$f: \mathbb{N}^M \rightarrow \mathbb{R}^{M \times N}.$$

Таким образом, матрица для любого предложения  $s$

$$V^s = f(t^s), V^s \in \mathbb{R}^{M \times N}. \quad (1)$$

Пусть  $u$  – вспомогательный вектор-строка из тех, которые содержат  $M$  значений:

$$u \in \mathbb{R}^{1 \times M}, \quad \forall i u_i = 1.$$

Мы предполагаем, что каждое предложение может быть описано единственным вектором  $v^s$ , который представляет собой нормализованную сумму компонентов соответствующих векторов для всех токенов:

$$v^s = \frac{(uV^s)^\top}{|(uV^s)^\top|}, \quad v^s \in V \subset \mathbb{R}^N. \quad (2)$$

Большие тексты содержат множество предложений, которые можно сгруппировать по темам. Принадлежность предложений к конкретной теме определяется мерой близости соответствующих векторов друг к другу по евклидовой метрике:

$$\rho(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}, \quad \forall x, y \in V.$$

Введем конечное число множеств  $A_1, A_2 \dots A_K$ , удовлетворяющих следующим условиям:

$$\bigcup_{i=1}^K A_i = V, \quad A_i \cap A_j = \emptyset \quad \forall i, j \in [1..K].$$

Каждый набор  $A_i$  включает векторы, соответствующие предложениям с той же темой. Наиболее оптимальное распределение векторов по множествам соответствует минимуму выражения  $l$ :

$$l = \sum_{i=1}^K \sum_{v^s \in A_i} (v^s - \mu_i)^2,$$

$$\mu_i = \frac{\sum_{v^s \in A_i} v^s}{|A_i|}. \quad (3)$$

Распределение векторов по кластерам в соответствии с (3) осуществляется алгоритмом кластеризации К-средних. Гиперпараметр  $K$  можно оценить с помощью статистического подхода Gap [18; 19] в соответствии с выражениями:

$$K = \min_{q \in \{0, 1\}} \min_{k \in \mathbb{N}}: \text{Gap}(k)^q \geq \text{Gap}(k+1)^q - s_{k+1}^q, \quad (4)$$

$$\text{Gap}(k)^0 = \frac{1}{B} \sum_b \log(W_{kb}^*) - \log(W_k),$$

$$s_k^0 = \sqrt{1 + \frac{1}{B} \sigma_b(\log(W_k^*))},$$

$$\text{Gap}(k)^1 = \frac{1}{B} \sum_b W_{kb}^* - W_k,$$

$$s_k^1 = \sqrt{1 + \frac{1}{B} \sigma_b(W_k^*)},$$

$$W_k = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^K \sum_{x, y \in A_i} (x - y)^2,$$

$$W_{kb}^* = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^K \sum_{x, y \in A_{ib}^*} (x - y)^2. \quad (5)$$

Чтобы вычислить внутрикластерную сумму квадратов расстояний и

функций разрыва, необходимо сгенерировать базовый набор данных  $X^*$ :

$$X^* = \left\{ X_b^* = \left\{ \begin{array}{l} x \in \mathbb{R}^N : \forall i \\ x_i \sim U(0,1) \end{array} \right\}_{i=1}^n \right\}_{b=1}^B. \quad (6)$$

Количество наборов  $B$  в наборе данных и размер каждого набора  $n$  определяются пользователем. Кластеры для справочных данных определяются так же, как и для наблюдаемых данных, с использованием процедуры k-средних:

$$\bigcup_{i=1}^K A_{ib}^* = X_b^*, \quad A_{ib}^* \cap A_{jb}^* = \emptyset \quad \forall i, j \\ \in [1..K], \quad \forall b \in [1..B].$$

Мы предполагаем, что чем ближе вектор к центру множества  $\mu$ , тем лучше соответствующее предложение выражает основную идею темы. Таким образом, чтобы уменьшить объем текста без потери смысла, мы берем только несколько ближайших к центру векторов из каждого набора и отбрасываем остальные. Вектор окончательного результата для разного количества выбранных векторов  $P$  из каждого набора может быть представлен следующим образом:

$$v(P) = \{B_i \subseteq A_i : \forall a \in A_i, \forall b \in B_i \hookrightarrow \rho(b, \mu_i) \leq \rho(a, \mu_i), |B_i| = P\}_{i=1}^K. \quad (7)$$

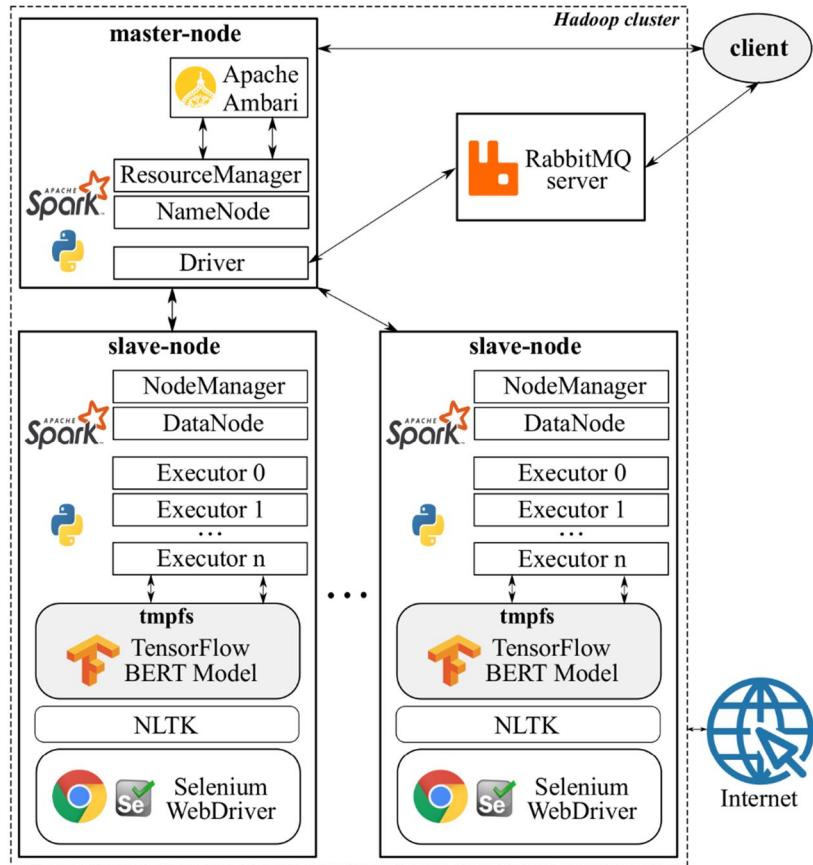
### Архитектура системы

Система извлечения текстовой информации разработана на основе фреймворка больших данных Apache Spark, который развернут на кластере

Hadoop (рис. 1). Ресурсы кластера управляются YARN. Все узлы кластера имеют доступ в Интернет. Язык программирования python и его библиотеки для обработки и анализа данных, в том числе NLTK, установлены на всех узлах кластера.

Семантика слов в предложениях рассматривается с помощью предварительно обученной модели BERT Tensorflow. Эта модель достаточно большая, поэтому загружать ее в узлы кластера приложением Apache Spark во время работы неудобно. Использование распространенных на другие узлы переменных Spark требует сериализации модели, ее передачи по сети и десериализации, что занимает много времени для запуска приложения. Таким образом, эта модель предварительно загружается на узлы с помощью внешних инструментов управления конфигурацией кластера (например, Ansible или Puppet) перед запуском приложения Spark. Чтобы минимизировать время доступа к загруженной модели для приложения, модель размещается в файловой системе tmpfs, которая монтируется в памяти каждого вычислительного узла.

Окончательная информация, определенная системой, отправляется процессом драйвера Spark на сервер RabbitMQ, где она добавляется в очередь и сохраняется для дальнейшего использования. Клиент может подключиться к серверу и получить его.



**Рис. 1.** Архитектура системы извлечения текстовой информации

**Fig. 1.** The architecture of the extracting text information system

## Алгоритмы

Алгоритм 1 показывает основную вычислительную процедуру нашей

информационной системы извлечения текста:

**Procedure Main():**

**Input:** The computing parameters

**Output:** The result vectors  $v(P)$  for every timeframe

Create the RDD of  $urls$  from  $UrlsFile$  in HDFS;

**while**  $stop \neq true$  **do**

wait for the next timeframe beginning;

$vectors \leftarrow emptyRDD$ ;

**for**  $i \leftarrow 1$  **to**  $NestingDepth$  **do**

$vec, urls = WebScrapingAndObtainVectors(urls, path, Domains)$ ;

$vectors += vec$ ;

**end**

$v(P) = ClusteringAndFinalVectorsComputing(vectors, B, P)$ ;

Send the result vector  $v(P)$  to the RabbitMQ server;

**end**

**End**

В качестве исходных данных для него используется список веб-адресов новостных сайтов. Каждый веб-адрес записан в отдельной строке этого файла, который находится в HDFS. При запуске программы считывает адреса из этого файла и формирует из них RDD. Чтобы отслеживать динамику изменения содержания новостных сайтов, система выполняет периодический парсинг и обработку информации с определенным временным интервалом. В конце каждого периода данные сериализуются и отправляются на сервер RabbitMQ для хранения.

Чтобы охватить большой набор различных информационных веб-ресурсов, система поддерживает итеративный парсинг до определенного уровня вложенности NestingDepth. Новые ссылки извлекаются из набора полученных ресурсов на каждой итерации и используются для дальнейшей очистки на следующем шаге итерации. Информация, полученная в результате парсинга, добавляется к уже имеющимся данным.

Веб-парсинг выполняется браузерами Google Chrome, при этом каждый экземпляр обрабатывает один раздел URL-адресов RDD. Все встречающиеся ссылки извлекаются с веб-страниц и при необходимости фильтруются на предмет принадлежности к определенным

доменам. Если запрошенная веб-страница не отвечает в течение определенного времени (обычно двух минут), она считается недоступной и пропускается браузером. Все новые адреса добавляются к RDD URL. Текстовое содержимое извлекается с сайтов и разбивается на предложения с помощью библиотеки Python NLTK. Эта библиотека позволяет правильно определять границы предложений с учетом специфики конкретного языка. Русский – основной язык обрабатываемых текстов. Каждое предложение преобразуется в вектор, содержащий информацию о значении и порядке слов. Это преобразование осуществляется с помощью специальной модели BERT, предварительно обученной текстам на русском языке для проекта DeepPavlov. Эта модель и словарь общедоступны. Модель применяется для выполнения преобразования (1) с параметрами  $M = 512$ ,  $N = 768$ . Вторая цифра обозначает выходной размер используемой модели BERT, а первая определяет максимальное количество токенов, ограниченное моделью. Для каждого предложения векторы всех токенов суммируются, нормализуются и становятся элементами нового RDD. Алгоритм 2 иллюстрирует основные этапы этой процедуры:

---

**Procedure** WebScrapingAndObtainVectors(*urls*, *path*, *Domains*):

**Input:** The RDD of the *urls*, the *path* to the BERT model, the *Domains* set of enabled urls

**Output:** The RDD of the sentences vectors  $v^s \in V$ , the RDD of the *urls*

Load the Tensorflow BERT Model from *path*;

Obtain the RDD of *txt* and the RDD of *ParsedUrls* by scraping the news sites at the *urls* using Chrome browser and Selenium WebDriver;

Compute the RDD of sentences  $s \in S$  by splitting the RDD of *txt* with the NLTK library;

Obtain the RDD of the sentences vectors  $v^s \in V$  computing (1) and (2) with the loaded BERT model;

**if** *Domains*  $\neq \emptyset$  **then**

| filter(*ParsedUrls*,  $P(url) : url \in Domains$ ) ;

*urls*  $\leftarrow ParsedUrls - urls$ ;

**End**

Набор векторов предложений требует кластеризации. Кластеризация выполняется методом k-средних с использованием библиотеки Spark MLlib. Процесс определения оптимального количества кластеров требует многократного вызова процедур генерации справочных данных и кластеризации. Размер каждого эталонного набора берется равным

количеству сгруппированных векторов предложений ( $n = |V|$ ), а количество наборов в эталонном наборе данных *B* выбирается равным 12 в качестве компромисса между точностью и временем вычисления. Последовательность действий по кластеризации описана в алгоритме 3:

---

**Procedure** ClusteringAndFinalVectorsComputing(*v*, *B*, *P*):

**Data:** The RDD of the sentence vectors  $v \in V$ , the *B* and *P* numbers

**Result:** The vector  $v(P)$  of the closest *P* vectors to the cluster centers

$s^0 \leftarrow 0, s^1 \leftarrow 0, k \leftarrow 0$ ;

Generate the RDD of  $X_{1b}^*$  using (6);

Compute  $Gap(k)^0$  and  $Gap(k)^1$ ;

**while**  $s^0 \leq 0$  and  $s^1 \leq 0$  and  $k \leq K_{max}$  **do**

$k \leftarrow k + 1$ ;

**for**  $b \leftarrow 1$  to *B* **do**

Generate the RDD of  $X_{kb}^*$  using (6);

Cluster  $X_{kb}^*$  into *k* clusters using the MLlib k-means function;

Cluster *V* set into *k* clusters using the MLlib k-means function;

Compute  $W_{kb}^*$  using (5);

**end**

$s^0 \leftarrow Gap(k - 1)^0 - Gap(k)^0 + s_k^0$ ;

$s^1 \leftarrow Gap(k - 1)^1 - Gap(k)^1 + s_k^1$ ;

**end**

$k \leftarrow k - 1$ ;

Compute  $v(P)$  using (7);

**End**

Для более точной оценки количества кластеров определены две функции Gap – с логарифмом  $W_k$  и без него. Они используются в условии цикла определения количества кластеров. М. Мохажер и др. в статье [18] показал, что условие для Gap-функции без логарифма сильнее, и оно может различать кластеры в большем количестве случаев. Любое из этих условий может быть выполнено для завершения цикла. В противном случае количество кластеров

определяется как  $K_{max}$ , которое в нашей работе предполагается равным 30.

### Архитектура программы

Программа для извлечения текстовой информации создана на языке программирования Python в объектно ориентированном стиле и реализует рассмотренные алгоритмы. Основные классы показаны на диаграмме UML (рис. 2).

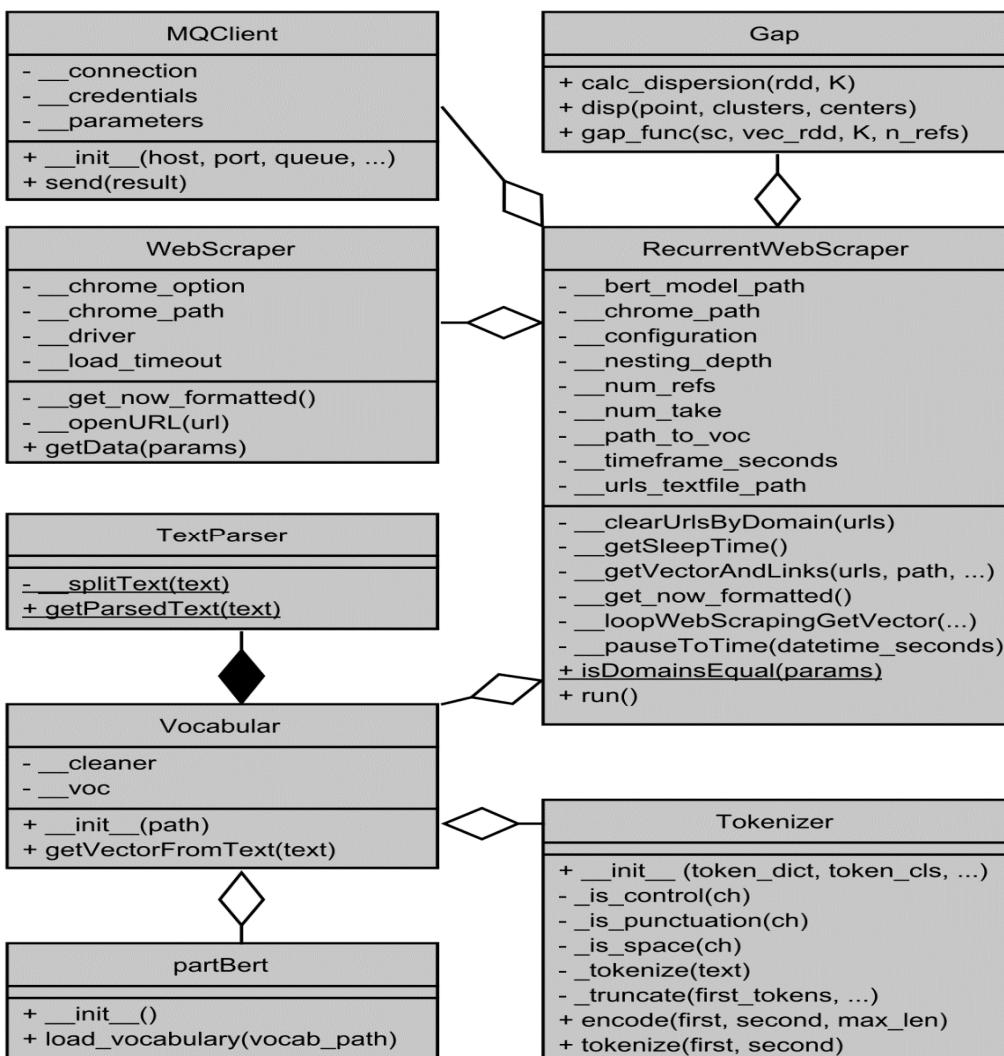


Рис. 2. UML-диаграмма классов

Fig. 2. The UML-class diagramm

Класс RecurrentWebScraper – это основной класс программной системы. При инициализации требуется большое количество параметров, которые определяют работу всей системы. Этот класс обеспечивает периодический запуск парсинга и обработку полученного контента. Его методы поддерживают модель BERT на вычислительных узлах. Он управляет вычислительным процессом и вызывает необходимые методы других классов.

Класс WebScraper содержит методы для очистки веб-сайтов и получения текстовой информации. Этот класс содержит все необходимые параметры, необходимые для запуска и управления браузером Chrome на каждом узле кластера.

Класс Gap содержит реализацию методов статистики Gap для оценки оптимального количества кластеров. В их состав входят функции для вычисления суммы расстояний между векторами в кластерах, стандартного отклонения, значений Gap-функций.

Класс TextParser обеспечивает разбиение текста на предложения. В нем представлен метод getParsedText(), который возвращает список полученных предложений. PartBert – вспомогательный класс для загрузки словаря из файла и его удобного представления для дальнейшего использования. Класс Vocabular используется для токенизации текста на основе словаря, он обеспечивает преобразование предложений в последовательность токенов. Знаки препинания и служебные символы удаляются. Затем токены преобразуются в матрицу

векторов токенов согласно (1). Это действие выполняется методами класса Tokenizer, взятого из проекта keras-bert на GitHub [20].

Класс MQClient обеспечивает реализацию взаимодействия программной системы с сервером сообщений RabbitMQ. Все необходимые параметры подключения передаются классу при его инициализации. Сообщение с данными может быть отправлено на сервер с помощью метода send().

## Результаты и их обсуждение

Тестирование рассматриваемой модели проводилось на вычислительном кластере Волгоградского государственного технического университета. Мы использовали два вычислительных узла с архитектурой Intel KNL и кластер Hadoop со всеми необходимыми библиотеками, установленными на них.

Для оценки точности модели был проведен эксперимент по вычислению метрики ROUGE для рассматриваемого алгоритма реферирования. Этот показатель сравнивает автоматически созданное резюме с эталонным, созданным человеком. Метрика была рассчитана с помощью пакета rouge python [21]. CNN / Daily Mail [22] был выбран в качестве набора данных. Для проведения эксперимента в системе был отключен модуль парсинга веб-сайтов, а тексты наборов данных отправлялись непосредственно на вход модуля преобразования текста и кластеризации. Из каждого кластера было извлечено только одно предложение ( $P = 1$ ). Результаты моделирования представлены в таблице.

**Таблица.** Результаты обобщения набора данных CNN / Daily Mail**Table.** Results of the synthesis of the CNN / Daily Mail dataset

Модель	ROUGE-1	ROUGE-2	ROUGE-L
MatchSUM [11]	44.41	20.86	40.55
DiscoBERT [9]	43.77	20.85	40.67
BertSumExt [8]	43.85	20.34	39.90
HIBERT [10]	42.37	19.95	38.83
<b>Наша модель</b>	<b>36.94</b>	<b>12.05</b>	<b>31.67</b>

Сравнение результатов показывает, что наш алгоритм демонстрирует меньшую точность по сравнению с моделями нейронных сетей. Это можно объяснить тем, что модель BERT обрабатывает только одно предложение за раз, поэтому влияние предложений друг на друга не учитывается. Это позволяет нам эффективно применять BERT для анализа больших текстов, но снижает точность программной системы.

Ниже приведен пример фрагмента результата резюмирования новостных сайтов на определенный момент времени:

*«Заранее позаботьтесь о масках и перчатках, если вы по каким-то причинам забыли их дома, вы можете купить их в кассах и автоматах московского транспорта», — сообщает пресс-служба РИАМО. ЦОДД рекомендует столичным жителям заранее ознакомиться со схемой ограничений при планировании маршрутов и по возможности отказаться от поездок на личном автотранспорте в центральную часть города. Чтобы предотвратить набор*

*веса из-за коронавируса, нужно помнить о «диете, которая не должна быть такой, какой была до карантина», — говорит Хидэко Ямабе. Коронавирус в мире: COVID атакует страны третьего мира. Ученые установили, как коронавирусная инфекция попадает в мозг человека. В Чикаго тысячи граждан вышли на улицы в знак протеста против расизма. В Турции на сегодняшний день выявлено 878 случаев заражения коронавирусом....*

Как видно, большая часть предложений относится к теме коронавируса, которая была очень популярна в то время, когда тексты копировались.

## Выводы

В работе была построена модель и представлены результаты тестирования системы реферирования текстов. Эта система была разработана с использованием инфраструктуры Apache Spark и предварительно обученной модели BERT. Система показывает удовлетворительную точность на тестовых данных.

### Список литературы

1. Далал В., Малик Л. Обзор методов извлечения и абстрактного обобщения текста // VI Международная конференция по новым тенденциям в машиностроении и технологиях, 2013. <https://doi.org/10.1109/icetet.2013.31>.
2. Attention is all you need / A. Vaswani, N. Shazir, N. Parmar, J. Ushkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, L. Kaiser, I. Polosukhin. URL: <http://arXiv.org/abs/1706.03762> (дата обращения: 10.09.2021).
3. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding / J. Devlin, C. Ming-Wei, K. Lee, K. Tutanova. URL: <https://arXiv.org/abs/1810.04805> (дата обращения: 10.09.2021).
4. Ананд Д., Ваг Р. Эффективные подходы глубокого обучения для обобщения юридических текстов // Журнал Университета Короля Сауда – Компьютерные и информационные науки. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2019.11.015>.
5. Метод автоматического резюмирования текста, основанный на длинной цепи элементов краткосрочной памяти / В. Фанг, Т. Цзян, К. Цзян, Ф. Чжан, Ю. Дин, Дж. Шэн // Международный журнал вычислительной науки и техники. 2020. <https://doi.org/10.1504/ijcse.2020.107243>.
6. Aakash Sinha, Abhishek Yadav, Akshay Gakhlot. Extractive Text Summarization Using Neural Networks. URL: <http://arXiv.org/abs/arXiv/1802.10137> (дата обращения: 17.09.2021).
7. Ло Т., Го К., Го Х. Автоматическое обобщение текста на основе преобразователя и переключаемой нормализации // Международная конференция IEEE 2019 по параллельной и распределенной обработке с приложениями, большим данным и облачным вычислениям, устойчивым вычислениям и коммуникациям, социальным вычислениям и сетям (ISPA / BDCloud / SocialCom / SustainCom). 2019. <https://doi.org/10.1109/ispa-bdcloud -ustaincom-socialcom48970.2019.00236>.
8. Лю Ю., Лапата М. Обобщение текста с предварительно обученными кодировщиками // Материалы конференции 2019 года по эмпирическим методам обработки естественного языка и XIX Международной совместной конференции по обработке естественного языка (EMNLP-IJCNLP). <https://doi.org/10.18653/v1/d19-1387>.
9. Нейронно-извлекающее резюмирование текста с учетом дискурса / Дж. Сью, 3. Ган, Ю. Ченг, Дж. Лю // Материалы 58-го ежегодного собрания Ассоциации компьютерной лингвистики. 2020. <https://doi.org/10.18653/v1/2020.acl-main.451> (дата обращения: 07.09.2021).
10. Чжан Х., Вэй Ф., Чжоу М. HIBERT: Предварительная подготовка на уровне документа иерархических двунаправленных преобразователей для резюмирования

документов // Материалы 57-го ежегодного собрания Ассоциации компьютерной лингвистики. 2019. <https://doi.org/10.18653/v1/p19-1499>.

11. Extractive summarization as a text comparison / M. Zhong, P. Liu, Yu. Chen, D. Wang, X. Qiu, X. Huang. URL: <https://arXiv.org/abs/2004.08795> (дата обращения: 10.09.2021).

12. Поиск эффективных нейронно-экстрактивных обобщений: что работает и что далее / М. Чжун, П. Лю, Д. Ван, Х. Цю, Х. Хуан // Материалы 57-го ежегодного собрания. 2019. <https://doi.org/10.18653/v1/p19-1100>.

13. Индонезийское автоматическое резюмирование текста на основе нового метода кластеризации на уровне предложений / З. Цай, Н. Лин, К. Ма, С. Цзян // Материалы Международной конференции по инженерии больших данных 2019 г. (BDE 2019). New York: ACM Press, 2019. <https://doi.org/10.1145/3341620.3341626>.

14. Эффективный и уникальный анализ данных на основе алгоритмической модели TF / С. Ивенди, С. Поннан, Р. Муниратхинам, К. Сринивасан, С. Й. Чанг // IDF для обработки приложений с потоковой передачей больших данных // Электроника. 2019. № 8 (11). С. 1331. <https://doi.org/10.3390/electronics8111331>.

15. Das C. eStep: новый метод обобщения семантического текста с использованием больших данных в Интернете // Международный журнал новейших технологий и инженерии. 2019. № 8 (3). С. 5171–5175. <https://doi.org/10.35940/ijrte.c5802.098319>.

16. Гупта В., Бансал Н., Шарма А. Обобщение текста для больших данных: комплексное исследование // Международная конференция по инновационным вычислениям и коммуникациям. Springer Singapore, 2018. С. 503–516. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2354-6\\_51](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2354-6_51).

17. Long Range Arena: A Benchmark for Efficient Transformers / Yu Tai., M. Dehgani, S. Abnar, Yu. Shen, D. Bahri, P. Pham, J. Rao, L. Yang, S. Ruder, D. Metzler. URL: <http://arXiv.org/abs/2011.04006> (дата обращения: 17.09.2021).

18. Mojgan Mohajer, Karl-Hans Englemeyer, Volker J. Schmid. A comparison of Gap Statistics Definitions with and without Logarithm Function. URL: <http://arXiv.org/abs/1103.4767> (дата обращения: 07.09.2021).

19. Тибширани Р., Вальтер Г., Хости Т. Оценка количества кластеров в наборе данных с помощью статистики пробелов // Журнал Королевского статистического общества: Серия B: Статистическая методология. 2001. № 63 (2). С. 411–423. <https://doi.org/10.1111/1467-9868.00293>

20. Keras\_bert at master CyberZHГ/keras-bert GitHub. URL: [https://github.com/CyberZHГ/keras-bert/tree/master/keras\\_bert](https://github.com/CyberZHГ/keras-bert/tree/master/keras_bert) (дата обращения: 17.09.2021).

21. Лин С. Я. ROUGE: Пакет для автоматической оценки резюме. URL: <https://www.aclweb.org/anthology/W04-1013> (дата обращения 04.09.2021).

22. Teaching Machines to Read and Comprehend / K. Moritz Hermann, T. Kochhisky, E. Grefenstefle, L. Espeholt, W. Kay, M. Suleyman, P. Blansom. 2015. URL: <http://arXiv.org/abs/1506.03340> (дата обращения: 10.09.2021).

## References

1. Dalal V., Malik L. [A Survey of Extractive and Abstractive Text Summarization Techniques]. VI Mezhdunarodnaya konferentsiya po novym tendentsiyam v mashinostroenii i tekhnologiyakh [2013 6th International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, 2013]. (In Russ.) <https://doi.org/10.1109/icetet.2013.31>
2. Vaswani A., Shazir N., Parmar N., Ushkoreit J., Jones L., Gomez A. N., Kaiser L., Polosukhin I. Attention is all you need. Available at: <http://arXiv.org/abs/1706.03762>. (accessed 10.09.2021)
3. Devlin J., Ming-Wei C., Lee K., Tutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. Available at: <http://arXiv.org/abs/1810.04805>. (accessed 10.09.2021)
4. Anand D., Wagh R. Effektivnye podkhody glubokogo obucheniya dlya obobshcheniya yuridicheskikh tekstov [Effective deep learning approaches for summarization of legal texts]. *Zhurnal Universiteta Korolya Sauda – Komp'yuternye i informatsionnye nauki = Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2019.11.015>
5. Fang W., Jiang T., Jiang K., Zhang F., Ding Y., Sheng J. A method of automatic text summarisation based on long short-term memory. *International Journal of Computational Science and Engineering*, 2020, no. 22(1), p. 39. <https://doi.org/10.1504/ijcse.2020.107243>
6. Aakash Sinha, Abhishek Yadav, Akshay Gakhlot. Extractive Text Summarization Using Neural Networks. Available at: <http://arXiv.org/abs/arXiv/1802.10137>. (accessed 17.09.2021)
7. Luo T., Guo K., Guo H. [Automatic Text Summarization Based on Transformer and Switchable Normalization]. Mezhdunarodnaya konferentsiya IEEE 2019 po parallel'noi i raspredelennoi obrabotke s prilozheniyami, bol'shim dannym i oblichnym vychisleniyam, ustochivym vychisleniyam i kommunikatsiyam, sotsial'nym vychisleniyam i setyam (ISPA / BDCloud / SocialCom / SustainCom) [2019 IEEE Intl Conf on Parallel & Distributed Processing with Applications, Big Data & Cloud Computing, Sustainable Computing & Communications, Social Computing & Networking (ISPA/BDCloud/SocialCom/

SustainCom)]. (In Russ.) <https://doi.org/10.1109/ispa-bdcloud-sustaincom-socialcom48970.2019.00236>

8. Liu Y., Lapata M. Obobshchenie teksta s predvaritel'no obuchennymi kodirovshchikami [Text Summarization with Pretrained Encoders]. Materialy konferentsii 2019 goda po empiricheskim metodam obrabotki estestvennogo yazyka i XIX Mezhdunarodnoi sovmestnoi konferentsii po obrabotke estestvennogo yazyka (EMNLP-IJCNLP) [Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP)]. 2019. (In Russ.) <https://doi.org/10.18653/v1/d19-1387>

9. Xu J., Gan Z., Cheng Y., Liu J. Neironno-izvlekatayushchee rezyumirovanie teksta s uchetom diskursa [Discourse-Aware Neural Extractive Text Summarization]. Materialy 58-go ezhegodnogo sobraniya Assotsiatsii komp'yuternoi lingvistiki [Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Association for Computational Linguistics]. 2020. (In Russ.) <https://doi.org/10.18653/v1/2020.acl-main.451>

10. Zhang X., Wei F., Zhou M. HIBERT: Predvaritel'naya podgotovka na urovne dokumenta ierarkhicheskikh dvunapravlennykh preobrazovatelei dlya rezyumirovaniya dokumentov [HIBERT: Document Level Pre-training of Hierarchical Bidirectional Transformers for Document Summarization]. Materialy 57-go ezhegodnogo sobraniya Assotsiatsii komp'yuternoi lingvistiki [Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Association for Computational Linguistics, 2019]. (In Russ.) <https://doi.org/10.18653/v1/p19-1499>

11. Zhong M., Liu P., Chen Yu., Wang D., Qiu X., Huang X. Extractive summarization as a text comparison. Available at: <https://arXiv.org/abs/2004.08795>. (accessed 10.09.2021)

12. Zhong M., Liu P., Wang D., Qiu X., Huang X. Poisk effektivnykh neironno-ekstraktivnykh obobshchenii: chto rabotaet i chto dalee [Searching for Effective Neural Extractive Summarization: What Works and What's Next]. Materialy 57-go ezhegodnogo sobraniya [Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Association for Computational Linguistics, 2019]. (In Russ.) <https://doi.org/10.18653/v1/p19-1100>

13. Cai Z., Lin N., Ma C., Jiang S. Indoneziiskoe avtomaticheskoe rezyumirovanie teksta na osnove novogo metoda klasterizatsii na urovne predlozenii [Indonesian Automatic Text Summarization Based on A New Clustering Method in Sentence Level]. Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii po inzhenerii bol'sikh dannykh 2019 g. (BDE 2019) [Proceedings of the 2019 International Conference on Big Data Engineering (BDE 2019)]. New York, Press Publ., 2019. <https://doi.org/10.1145/3341620.3341626>

14. Iwendi C., Ponnan S., Munirathinam R., Srinivasan K., Chang C. Y. Effektivnyi i unikal'nyi analiz dannykh na osnove algoritmicheskoi modeli TF/IDF dlya obrabotki prilozhenii s potokovoi peredachei bol'sikh dannykh [An Efficient and Unique TF/IDF Algorithmic Model-Based Data Analysis for Handling Applications with Big Data Streaming]. *Elektronika = Electronics*, 2019, no. 8(11), p. 1331. <https://doi.org/10.3390/electronics8111331>
  15. Das S. eStep: novyi metod obobshcheniya semanticheskogo teksta s ispol'zovaniem bol'sikh dannykh v Internete [eStep: A Novel Method for Semantic Text Summarization with Web-based Big Data]. *Mezhdunarodnyi zhurnal noveisikh tekhnologii i inzhenerii = International Journal of Recent Technology and Engineering*, 2019, no. 8(3), pp. 5171–5175. <https://doi.org/10.35940/ijrte.c5802.098319>
  16. Gupta V., Bansal N., Sharma A. Obobshchenie teksta dlya bol'sikh dannykh: kompleksnoe issledovanie [Text generalization for big data: a comprehensive study]. Mezhdunarodnaya konferentsiya po innovatsionnym vychisleniyam i kommunikatsiyam [International Conference on Innovative Computing and Communications]. Springer Singapore, 2018, pp. 503–516. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2354-6\\_51](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2354-6_51)
  17. Tai Yu., Dehgan M., Abnar S., Shen Yu., Bahri D., Pham P., Rao J., Yang L., Ruder S., Metzler D. Long Range Arena: A Benchmark for Efficient Transformers. Available at: <http://arXiv.org/abs/2011.04006>. (accessed 17.09.2021)
  18. Mohajer Mohajer, Karl-Hans Englemeyer, Volker Schmid J. A comparison of Gap Statistics Definitions with and without Logarithm Function. Available at: <http://arXiv.org/abs/1103.4767>. (accessed 07.09.2021)
  19. Tibshirani R., Walther G., Hastie T. Otsenka kolichestva klasterov v nabore dannykh s pomoshch'yu statistiki probelov [Estimating the number of clusters in a data set via the gap statistic]. *Zhurnal Korolevskogo statisticheskogo obshchestva: Seriya B: Statisticheskaya metodologiya = Journal of the Royal Statistical Society: Series B: Statistical Methodology*, 2001, no. 63(2), pp. 411–423. <https://doi.org/10.1111/1467-9868.00293>
  20. Keras\_bert at master CyberZHГ/keras-bert GitHub. Available at: [https://github.com/CyberZHГ/keras-bert/tree/master/keras\\_bert](https://github.com/CyberZHГ/keras-bert/tree/master/keras_bert). (accessed 17.09.2021)
  21. Lin C. Y. ROUGE: Paket dlya avtomaticheskoi otsenki rezyume [ROUGE: A Package for Automatic Evaluation of Summaries]. Available at: <https://www.aclweb.org/anthology/W04-1013>. (accessed 04.09.2021)
  22. Moritz Hermann K., Kočiský T., Grefenstette E., Espeholt L., Kay W., Suleyman M., Blunsom P. Teaching Machines to Read and Comprehend. 2015. Available at: <http://arXiv.org/abs/1506.03340>. (accessed 10.09.2021)
-

**Информация об авторах / Information about the Authors**

**Качанов Юрий Александрович**, преподаватель кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, e-mail: yura\_1234@mail.ru

**Yuriii A. Kachanov**, Lecturer of the Department of Software of Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, e-mail: yura\_1234@mail.ru

**Кравченя Павел Дмитриевич**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электронно-вычислительных машин и систем, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, e-mail: kpd\_@mail.ru

**Pavel D. Kravchenya**, Cand. of Sci. (Physical and Mathematical), Associate Professor of the Departments of Electronic Computing Machines and Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, e-mail: kpd\_@mail.ru

**Кузнецов Михаил Андреевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры электронно-вычислительных машин и систем, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, e-mail: mara122@mail.ru

**Mikhail A. Kuznetsov**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Departments of Electronic Computing Machines and Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, e-mail: mara122@mail.ru

**Кузнецова Агнесса Сергеевна**, старший преподаватель кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, e-mail: agnessakyz@yandex.ru

**Agnessa S. Kuznetsova**, Senior Lecturer of the Department of Software of Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, e-mail: agnessakyz@yandex.ru

**Гилка Вадим Викторович**, старший преподаватель кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, e-mail: gilka\_vv@mail.ru

**Vadim V. Gilka**, Senior Lecturer of the Department of Software of Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, e-mail: gilka\_vv@mail.ru

## Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-26-45>

## Информационная система оценки профессиональных рисков в ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

**А. Н. Барков<sup>1</sup>** 

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

 e-mail: aleksebarkov@yandex.ru

### Резюме

**Цель исследования** – разработка информационной системы оценки профессиональных рисков, позволяющей автоматизировать процессы системы управления охраной труда на примере образовательной организации.

**Методы.** В современных условиях существует широкий спектр методов оценки и управления профессиональных рисков, однако отсутствуют унифицированный метод и подход к оценке профессиональных рисков. В связи с тем, что пользователю необходимо обрабатывать колоссальные объемы поступающей информации, необходима автоматизированная информационная система, которая позволит снизить временной промежуток от выявления опасностей к принятию управленческих решений, направленных на устранение выявленных опасностей.

**Результаты.** Автором рассмотрены существующие методики оценки профессиональных рисков и осуществлен выбор оптимального метода на основании заданных критерииев. Проанализированы существующие информационные системы, позволяющие автоматизировать процесс оценки риска. На основании заданных критерииев осуществлен выбор наиболее эффективной среды, способной реализовать поставленные цели. Спроектирована база данных, составляющая информационную систему оценки профессиональных рисков, и проведена апробация разработанной базы данных в реальных условиях деятельности образовательной организации.

**Заключение.** В ходе исследования разработана информационная система оценка профессиональных рисков, которая включает в себя формы для внесения и корректировки перечня профессий и должностей, формы оперативного изменения и уточнения перечня профессиональных рисков и возможности расчета уровня риска при изменении условий производственной среды, а также осуществлена возможность формирования карт оценки риска. Данная система позволила автоматизировать процесс идентификации и оценки профессиональных рисков, что способствует оперативному принятию решений, направленных на снижение вероятности возникновения профессиональных заболеваний и профессионального травматизма в образовательной организации. Разработанная процедура внедрена и используется в практической деятельности службой охраны труда университета.

**Ключевые слова:** информационная система; профессиональный риск; база данных; Microsoft Access; обработка данных; профессиональные заболевания.

**Конфликт интересов:** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках реализации внутриуниверситетского гранта по программе развития ЮЗГУ (ПРИОРИТЕТ 2030) № ПР2030/2021-28.

**Для цитирования:** Барков А. Н. Информационная система оценки профессиональных рисков в ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 26–45. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-26-45>

Поступила в редакцию 07.10.2021

Подписана в печать 04.11.2021

Опубликована 20.12.2021

## Information System of Professional Risk Assessment at the Southwest State University

Alexey N. Barkov<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

 e-mail: aleksebarkov@yandex.ru

### Abstract

**The purpose of research** is development of an information system for assessing occupational risks, which allows to automate the processes of the labor protection management system using the example of an educational organization.

**Methods.** Today, there is a wide range of methods for assessing and managing occupational risks, but there is no unified method and approach to assessing occupational risks. Due to the fact that the user needs to process huge volumes of incoming information, an automated information system is needed, which will reduce the time period from identifying hazards to making management decisions aimed at eliminating identified hazards.

**Results.** The author reviewed the existing methods of assessing occupational risks and selected the optimal method based on the given criteria. Existing information systems have been analyzed to automate the risk assessment process. Based on the specified criteria, the most effective environment capable of realizing the set goals was selected. The database, which is a component of the information system for assessing occupational risks, was designed and the developed database was tested in the real conditions of the educational organization.

**Conclusion.** During the study, an information system for assessing occupational risks was developed, which includes forms for introducing and adjusting the list of professions and positions, forms for quickly changing and refining the list of occupational risks and the possibility of calculating the level of risk when the working environment changes, as well as the possibility of creating risk assessment maps. This system made it possible to automate the process of identification and assessment of occupational risks, which contributes to the prompt adoption of decisions aimed at reducing the likelihood of occupational diseases and occupational injuries in an educational organization. The developed procedure is implemented and used in practical activities by the labor protection service of the university.

**Keywords:** information system; occupational risk; database; Microsoft Access; data processing; occupational diseases.

**Conflict of interest:** The Author declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Funding:** The work was carried out within the framework of the implementation of an intra-university grant under the Southwestern State University Development Program (PRIORITY 2030) No. PR2030/2021-28.

**For citation:** Barkov A. N. Information System of Professional Risk Assessment at the Southwest State University. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoje priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2021; 11(4): 26–45. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-26-45>

Received 07.10.2021

Accepted 04.11.2021

Published 20.12.2021

\*\*\*

## Введение

В последние десятилетия все сферы производственной среды взяли курс на переход к риск-ориентированному подходу и переходу от анализа последствий к моделированию происходящих ситуаций и прогнозной оценки вероятности возникновения негативных последствий [1; 2; 3; 4; 5].

Профессиональный риск в соответствии со ст. 209 ТК РФ – вероятность причинения вреда здоровью в результате воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов при исполнении работником обязанностей по трудовому договору или в иных случаях, установленных настоящим ТК РФ или другими федеральными законами, например офисное оборудование, лабораторное оборудование и т. д., при эксплуатации которого может возникнуть ситуация, которая приведет к травмированию работника или превышению воздействующих на него вредных факторов. Управление профессиональными рисками – комплекс взаимосвязанных мероприятий, являющихся элементами системы управления охраной труда и включающих в себя меры по выявлению, оценке и снижению уровней профессиональных рисков.

Даная процедура входит в комплекс мероприятий системы управления охраной труда, включающей в себя широкий спектр элементов организационно-управленческих решений, позволяющих снизить профессиональную заболеваемость и производственно обусловленный травматизм, что в свою очередь будет способствовать повышению работоспособности и экономической стабильности производств [6; 7; 8; 9].

Сведения, которые необходимы для эффективной оценки профессиональных рисков, представляют достаточно большой объем данных, таких как:

- должность;
- структурное подразделение;
- численность персонала в структурном подразделении;
- название опасности;
- выполняемая работа;
- источник риска;
- меры по управлению риском;
- оценка уровня риска;
- отношение к риску [10; 11; 12; 13; 14].

В связи с тем, что представленные данные необходимо обрабатывать на постоянной основе, возникла необходимость разработки информационной системы оценки профессиональных рис-

ков в ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», которая позволит производить анализ необходимой информации для оценки профессиональных рисков в автоматической режиме, снизит время, затрачиваемое на обработку данных, и повысит эффективность и своевременность принятия организационно-технических решений, направленных на предотвращение опасных ситуаций на рабочих местах в структурных подразделений.

### **Материалы и методы**

Для достижения поставленной в работе цели были проанализированы существующие доступные информационные системы, которые позволяют обрабатывать большие массивы данных и способны формировать отчеты по результатам обработки информации: Oracle, MySQL, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, MongoDB, DB2, Microsoft Access, Redis [15; 16; 17].

Были установлены основные критерии для выбора оптимальной среды:

- возможность создания многофункциональных решений с расширенными возможностями управления данными и пользовательским контролем;
- простота и доступность использования;
- импорт и экспорт в формат Excel;
- максимальная гибкость;
- экспорт Microsoft Word с последующей возможностью редактирования экспортированного отчета.

В результате анализа вышеописанных систем была выбрана среда Microsoft Access, так как она наиболее полно соответствует предъявляемым требованиям к проектируемой информационной системе.

На первом этапе оценки профессиональных рисков была создана комиссия в составе: председателя (ректор университета), заместителя председателя (проректор по режиму и общим вопросам) и членов комиссии (главный инженер, начальник Службы охраны труда, инженер по ОТиТБ, заведующий кафедрой ОТиОС и доцент кафедры ОТиОС). Члены комиссии должны обладать должными обладать соответствующим уровнем компетенций, знать опасности, присущие оцениваемой деятельности, и применяемые меры по их управлению.

Следующим этапом создания информационной системы оценки профессиональных рисков стал выбор методики оценки, которая будет включена в разрабатываемую информационную среду.

При выборе методов оценки риска организации необходимо учитывать цели, задачи оценки риска, специфику рассматриваемых рабочих мест и рабочих операций, объектов производственной деятельности, наличие необходимых для оценки риска исходных данных [18; 19; 20].

Методы, используемые при анализе риска, могут быть качественными, количественными или смешанными. Степень

глубины и детализации анализа зависит от конкретной ситуации, доступности достоверных данных и потребностей организации, связанных с принятием решений.

В ходе исследования были проанализированы наиболее часто используемые методы оценки профессионального риска в соответствии с ГОСТ 12.0.230.5-2018 «Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Методы оценки риска для обеспечения безопасности выполнения работ»:

- метод проверочного листа, или чек-листа;
- метод Дельфи;
- анализ дерева событий;
- метод мозгового штурма
- метод структурированного или частично структурированного интервью;
- матричный метод;
- метод Файна-Кинни;
- метод «Анализ дерева отказов (неисправностей)»;
- метод «Оценка влияния человеческого фактора»;
- метод «галстук-бабочка»;
- причинно-следственный анализ (метод Исикавы);
- марковский анализ;
- структурированный метод «Что, если?»;
- сценарный анализ.

На основании проведенного анализа методов оценки профессиональных рис-

ков был выбран гибридный метод, состоящий из методов: Файна-Кинни, который заключается в последовательной оценке рисков: степени подверженности работника воздействию опасности на рабочем месте, возможности возникновения угрозы на рабочем месте и тяжести последствий для работников в том случае, если угроза осуществляется, и чек-листа, который на первом этапе оценки разрабатывается комиссией по оценке профессионального риска совместно с руководителями структурных подразделений в соответствии со спецификой структурного подразделения. Разработанный чек-лист передается для заполнения сотрудникам подразделения, после этого члены комиссии по оценке профессионального риска обрабатывают полученные данные и учитывают их при актуализации реестра опасностей и для выявления степени подверженности при расчете уровня профессионального риска. Метод чек-листа необходимо использовать при повторной процедуре оценки профессиональных рисков, что позволит включить в процедуру оценки сотрудников организации инести необходимые корректировки в перечне выявленных опасностей. По возможности в проведение опроса необходимо включать всех работников организации. Фрагмент задаваемых вопросов представлен ниже (рис. 1).

### РУЧНОЙ ПОДЪЕМ ПРЕДМЕТОВ

- Вам приходится поднимать тяжелые предметы одной рукой?
- Вам приходится наклоняться для подъема тяжестей?
- Вам приходится ставить и снимать предметы с полок, расположенных выше уровня плеч?
- Вам приходится скручивать корпус при обработке грузов?

### ПОВТОРЯЮЩИЕСЯ ЗАДАЧИ

- Вам приходится выполнять повторяющиеся движения в течение нескольких часов без перерыва (сканирование продуктов, нарезка продуктов, упаковка товаров и прочее)?
- Требуется ли для выполнения работы многократные нажатие пальцев?
- Требует ли ваша работа постоянных движений запястьем (рисование художественной кистью, постоянная работа компьютерной мышью)?

### РАБОЧИЕ ПОЗЫ

- Для выполнения работы требуется часто приседать?
- Для выполнения работы требуется часто наклоняться или изгибать корпус?
- Приходится часто работать поднятыми вверх руками?
- Приходится работать в тесных помещениях?
- Выполнение работы требует удерживать запястье в согнутом положении?
- Приходится работать, держа руки в одном и том же положении в течение длительного периода времени, не меняя положения и не отдыхая?
- Для выполнения работы приходится находиться в одном положении (стоя или сидя) без возможности смены позы?

**Рис. 1.** Фрагмент контрольного списка вопросов для выявления потенциальных эргономических факторов риска на рабочем месте

**Fig. 1.** Checklist snippet to identify potential ergonomic workplace risk factors

На втором этапе оценки профессионального риска организации используется метод Файна-Кини. В ходе проведения данного этапа был рассмотрен ход производственной деятельности на всех стадиях производственного процесса. Определены зависимости видов нарушений правил охраны труда, которые могут привести к возникновению травмы или заболеванию.

По результатам оценки риск был классифицирован на 5 групп: очень маленький, небольшой, средний, высокий, крайне высокий.

Метод заключается в последовательной оценке рисков как произведения:

$$\text{ИПР} = \text{Вр} \cdot \text{Пд} \cdot \text{Пс}, \quad (1)$$

где Пд – степени подверженности работника воздействию опасности на рабочем месте; Вр – вероятность возникновения угрозы на рабочем месте; Пс – тяжесть последствий для работников в том случае, если угроза осуществляется.

Каждый из обозначенных параметров должен иметь конкретное числовое значение, выраженное в балльной оценке показателей, которому можно поставить в соответствие некоторое количество баллов (табл.).

**Таблица.** Балльная оценка риска, подверженности и последствий**Table.** Scoring of risk, exposure and consequences

Вероятность (Bp)	Баллы	Подверженность (Пд)	Баллы	Последствия (Пс)	Баллы
Ожидаемо, это случится	10	Постоянно (чаще 1 раза в день или >50% времени смены)	10	Катастрофа, много жертв	100
Очень вероятно	6	Регулярно (ежедневно)	6	Разрушения, есть жертвы	40
Некарактерно, но возможно	3	От случая к случаю (еженедельно – до 6 раз в неделю)	3	Очень тяжелые, один смертельный случай	15
Невероятно	1	Иногда (ежемесячно – до 3 раз в месяц)	2	Потеря трудоспособности, инвалидность, профзаболевание	7
Можно себе представить, но невероятно	0,5	Редко (ежегодно – до 11 раз в год)	1	Случай временной нетрудоспособности	3
Почти невозможно	0,2	Очень редко (до 1 раза в год)	0,5	Легкая травма, достаточно оказания первой помощи	1
Фактически невозможно	0,1	–	–	–	–

После определения итогового значения индекса профессионального риска разрабатываются корректирующие мероприятия для оцененных опасностей.

Оценка эффективности и объективности разработанного способа оценки профессиональных рисков возможна только на этапе повторной оценки профессиональных рисков, после внедрения предложенных по результатам оценки

мероприятий, направленных на снижение выявленных рисков возникновения профессиональных заболеваний и травм на рабочих местах. В случае если эффективность мероприятий окажется низкой, необходимо внести соответствующие корректировки в балльную оценку рисков, установленную экспертной группой, и предложить изменения в трудоохраных мероприятиях.

Далее на основании определенных данных, которые необходимы для составления карты оценки профессиональных рисков и в связи с тем, что в настоящий момент законодательно не

установлены определенные рамки для оценки профессиональных рисков, была разработана карта оценки профессиональных рисков (рис. 2).

<b>НАЗВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ</b>						
ИИН, Адрес						
<b>КАРТА №</b>						
<b>оценки профессиональных рисков</b>						
Наименование профессии (должности) работника						
Наименование структурного подразделения:						
Численность работающих:						
Всего работников						
<b>Идентифицированные опасности и оцененные профессиональные риски:</b>						
№	Опасность	Выполняемая работа	Источник риска	Меры управления риском	Оценка уровня риска	Отношение к риску
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
Перечень нормативных правовых актов и документов использованных при оценке профессиональных рисков:						
1. 2.						
Дата составления карты: _____						
Работники, проводившие оценку профессиональных рисков:						
(должность)		(Ф.И.О.)		(подпись)	(дата)	
С результатами оценки профессиональных рисков ознакомлен(ы):						
(Ф.И.О.)		(подпись)		(дата)		

**Рис. 2. Кarta оценки профессиональных рисков**

**Fig. 2. Occupational Risk Assessment Map**

Далее была разработана и заполнена таблица, которая необходима для вывода информации в карту оценки. В эту таблицу были внесены следующие данные: должность, структурное подразделение, название опасности, подверженность, вероятность, последствия, выполняемая работа, источник риска, меры управления риском.

Информацию о должности, структурном подразделении, названии опас-

ности, подверженности, вероятности, последствиях вынесена в отдельные таблицы.

После этого установили связь между структурным подразделением и должностью. Для этого введена вспомогательная таблица «учреждение», а также таблица, хранящая информацию о сотрудниках. В итоге была получена итоговая схема базы данных (рис. 3).

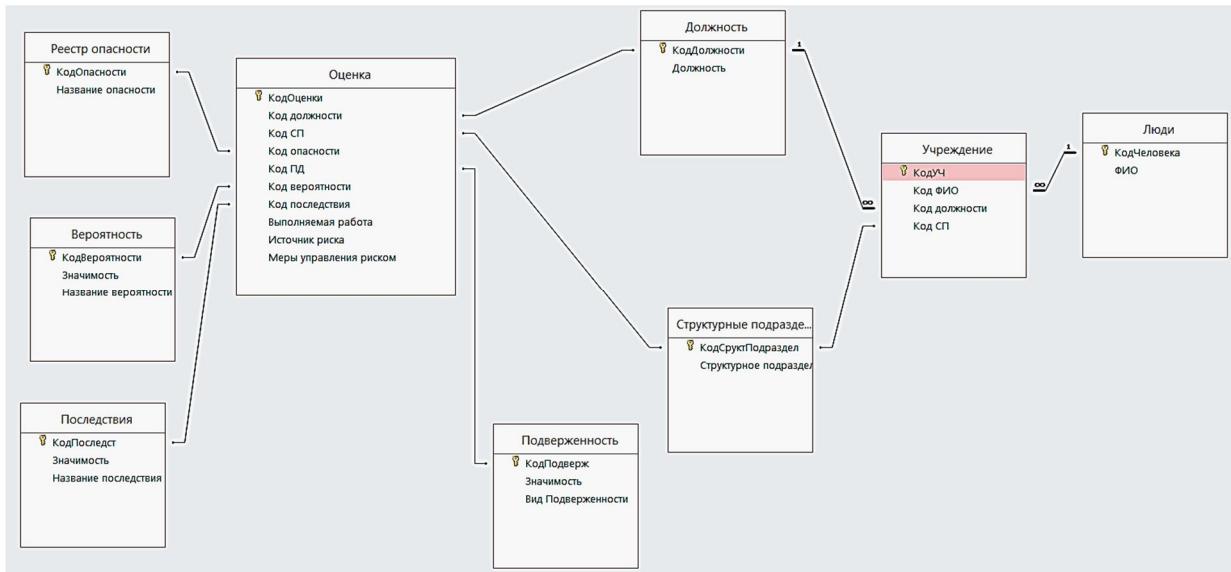


Рис. 3. Схема базы данных для оценки профессиональных рисков [13; 14]

Fig. 3. Occupational risk assessment database diagram [13; 14]

Следующим этапом является разработка запросов к базе данных и создание формы управления к ней.

На рисунке 4 показано, как, воспользовавшись конструктором запросов, создан запрос, рассчитывающий уровень риска опасности для каждой должности.

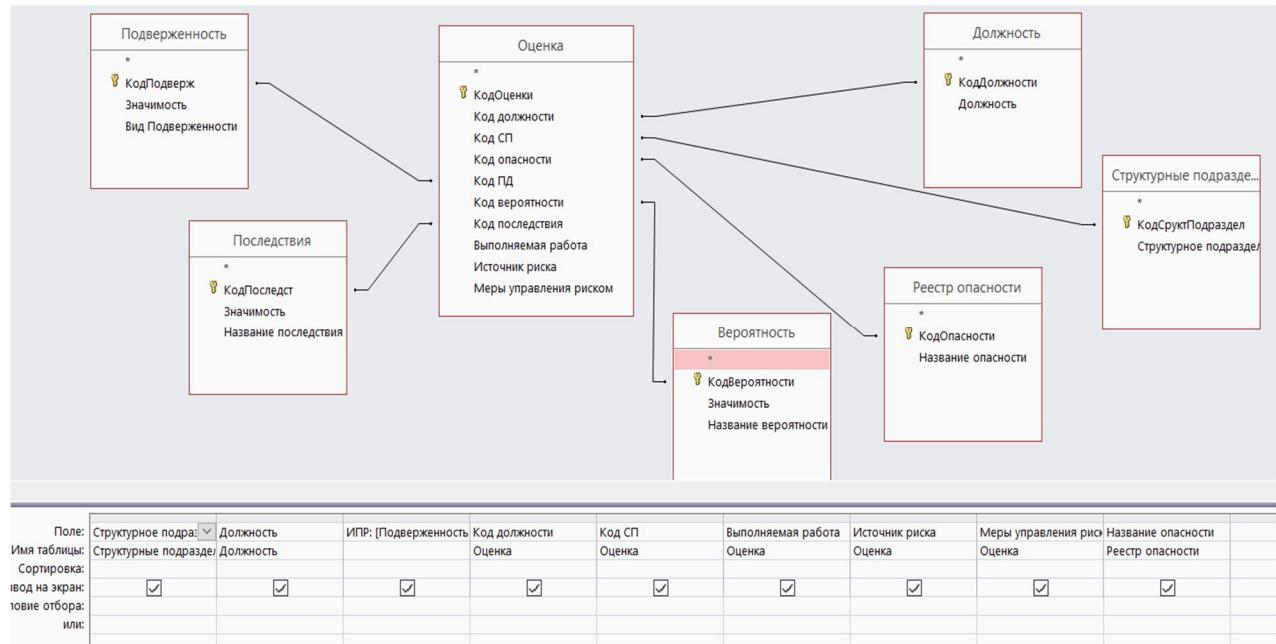


Рис. 4. Запрос на расчет уровня риска

Fig. 4. Risk level calculation request

Аналогичным образом создаем оставшиеся запросы.

Разработав запросы, была создана форма управления, с помощью которой

осуществляется внесение, редактирование информации о рисках, а также переход к выводу данной карты на сохранение или печать (рис. 5).

Структурное подразделение	Управление по воспитательной и социальной работе
Код Структурного Подразделения	27
Должность	Делопроизводитель
Код Должности	54
Кол-во человек	1

Вывод отчета на печать

**Рис. 5.** Макет формы управления

**Fig. 5.** Control form layout

В данной форме в режиме конструктора добавлены элементы управления, позволяющие переходить по записям вперед или назад, сформировать фильтр по структурным подразделениям, а также вывести на печать карту оценки профессиональных рисков выбранной должности.

Для полноценного завершения формы управления создана подчиненная форма, которая интегрируется в основную (рис. 6). Данная форма позволяет нам добавлять необходимую информацию об опасностях.

Воспользовавшись конструктором отчетов, реализуется возможность создания макета карты, который будет автоматически заполняться после внесения данных в форму управления (рис. 7).

Помимо этого, разработанная информационная система позволяет выводить форму с указанием перечня идентифицированных опасностей, воздействующих на работников образовательной организации, далее оформляется реестр опасностей и перечень мер по исключению, снижению или контролю уровня риска.

## Оценка

<b>Код оценки</b>	<b>Код СП</b>	<b>Код должности</b>
166 Управление по воспитательной и социальной работе		Доцент
<b>Код опасности</b>		
<b>Код ПД</b>	<b>Код вероятности</b>	<b>Код последствия</b>
<b>Выполняемая работа</b>		
учебных корпусах		
<b>Источник риска</b>		
<b>Меры управления риском</b>		

**Добавить опасность**

**Рис. 6.** Подчиненная форма

**Fig. 6.** Subform

Организация		Карта № оценки профессиональных рисков				Перечень нормативных правовых актов и документов использованных при оценке профессиональных рисков:	
						1. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов физической обстановки" 2. ГОСТ 12.0.230-2007 ССБТ "СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА" 3. ОСТ Р 12.0.010-2009 ССБТ "СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПАСНОСТЕЙ И ОЦЕНКА РИСКОВ" 4. ГОСТ 12.0.230.5-2018 ССБТ "СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА. Методы оценки риска для обеспечения безопасности выполнения работ" 5. Р 50.1.08-2012 "РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ. Менеджмент риска. РЕГИСТР РИСКА". Руководство по созданию реестра риска организации" 6. ГОСТ 12.0.230.4-2018 ССБТ "СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА. Методы идентификации опасностей из различных этапах выполнения работ" 7. ТРУДОВОЙ КОДЕКС РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (с изменениями на 28 июня 2021 года)(редакция, действующая с 1 сентября 2021 года)	
Наименование структурное подразделение		Численность работающих:					
Спецчасть		Наименование профессии (занятий) работника					
Наименование специализированные опасности и оцененные профессиональные риски:							
№	Опасность	Выполняемая работа	Источник риска	Меры управления риском	Оценка угрозы риску	Отношение к риску	Срокность мероприятий
1	Опасность самовозгорания горючих веществ	Выполнение трудовых обязанностей на территории учреждения	Горючие вещества	Соблюдение правил хранения ЛВЖ. Соблюдение требований ТБ	30,00	Возможный риск	Не требуется дополнительные средства управления риском; действия по дальнейшему снижению этого риска даются низкий приоритет. Работодателю необходимо провести мероприятия, которые позволяют убедиться, что средства управления риском поддерживаются в раб
С результатами оценки профессиональных рисков ознакомлен(ы):							
				(Ф.И.О)	(Подпись)	(Дата)	
				(Ф.И.О)	(Подпись)	(Дата)	

**Рис. 7.** Макет карты оценки профессиональных рисков

**Fig. 7.** Professional risk scorecard layout

## Результаты и их обсуждение

На первом этапе апробации разработанной системы оценки были произведены натурные наблюдения за состоя-

нием и условиями труда на рабочих местах организаций. В результате чего был скорректирован предварительно составленный реестр опасностей и выявлены наиболее проблематичные участки, требующие детального рассмотрения.

Также в ходе проведения наблюдений были опрошены сотрудники на предмет выявления скрытых рисков и опасностей, которые могут быть выявлены только при постоянном контакте с факторами производственной среды на рабочем месте.

Данные были интегрированы в разработанную базу данных, где и проводилась непосредственная оценка профессиональных рисков. Этапы оценки в реальных условиях рассмотрены далее.

Программа имеет следующую схему данных, а также таблицы, запросы, формы и отчеты (рис. 8).

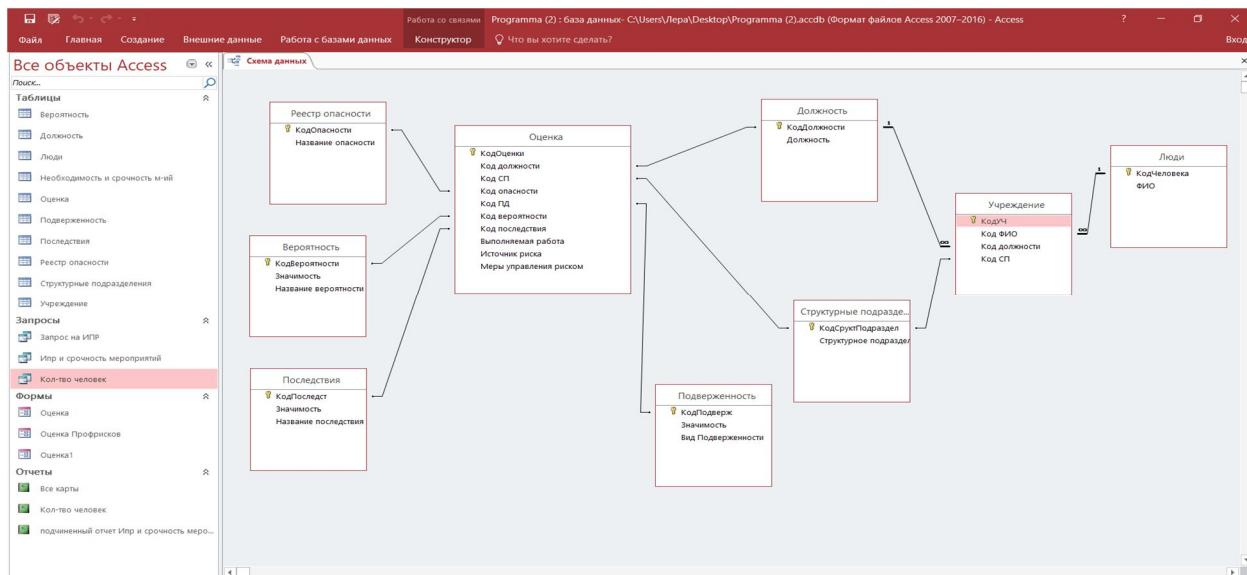


Рис. 8. Структура заполненной базы данных

Fig. 8. Structure of the populated database

В таблицу «Должность» вносятся все должности в учреждении. В таблицу «Люди» вносятся Ф. И. О. сотрудников учреждения. Реестр опасностей может быть дополнен или изменен по необходимости. В таблицу «Структурные подразделения» вносится информация по структурным подразделениям. В таблице «Учреждение» создается связь между сотрудником должностью, которую он занимает, и структурным подразделением.

Остальные таблицы не изменяются и не дополняются.

Основная работа в программе производится через панель навигации формы «Оценка профрисков» (рис. 9). В данной панели можно сделать фильтр по структурным подразделениям, а также при помощи стрелок «влево/вправо» можно менять должности в выбранном структурном подразделении. Также предусмотрена кнопка «Вывод отчета на печать». Она позволяет вывести карту профрисков в режиме предварительного просмотра, где можно ее сохранить или сразу распечатать.

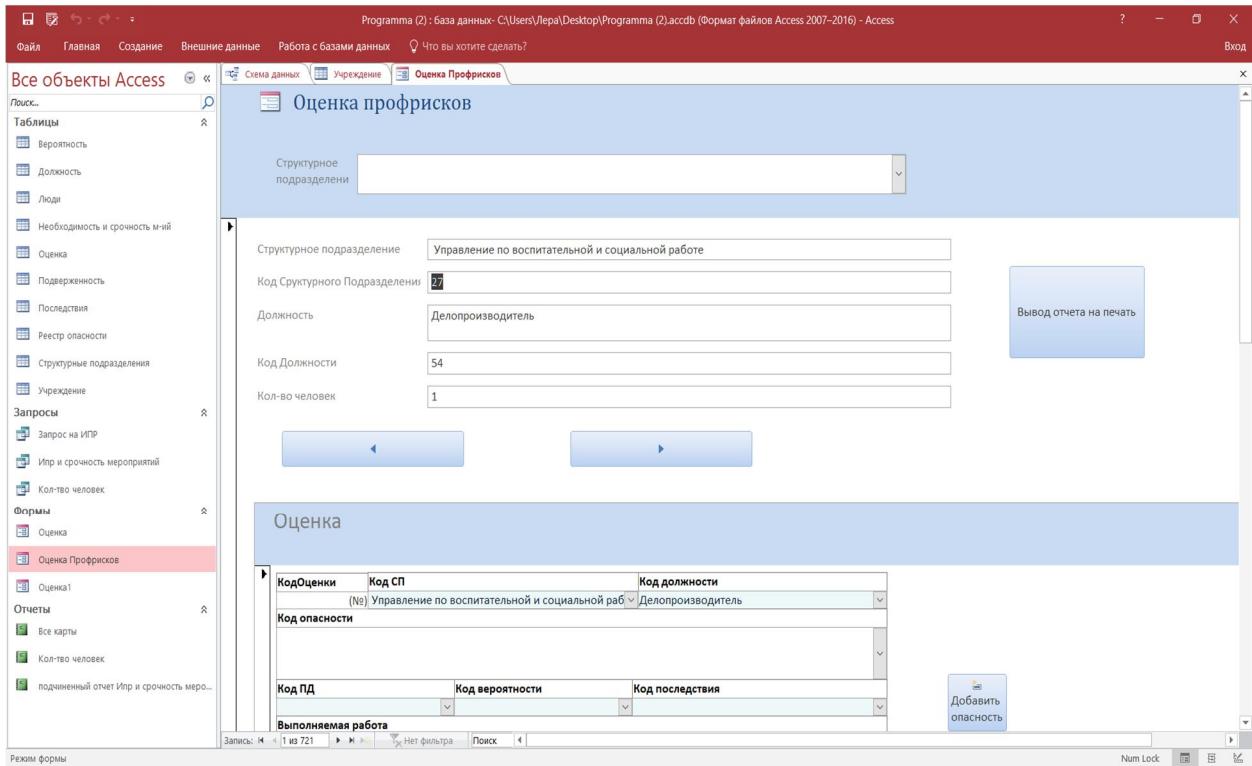


Рис. 9. Панель навигации

Fig. 9. Navigation bar

Для добавления опасностей предусмотрено 2 способа. Первый способ представлен ниже (рис. 10).

После того как был произведен выбор структурного подразделения и должности, в данной панели были добавлены опасности, возникающие на рабочем месте. Структурное подразделение и должность заполняются автоматически в зависимости от выбранного фильтра. После чего выбирается опасность, присваиваются ей значения вероятности, подверженности и последствия, после чего вручную заполняются поля: выполняемая работа, источник риска,

меры управления риском. Далее добавляют все опасности, относящиеся к данной должности, после чего следует перейти к другой.

Рассмотрим второй вариант добавления опасностей (рис. 11).

В данном поле можно посмотреть все опасности, относящиеся к выбранной должности в структурном подразделении. Информацию можно вносить точно так же, как и в предыдущем поле. Отличием является то, что в данном поле опасности отображаются по присвоенным им кодам, но при выборе опасности можно видеть ее полное название.

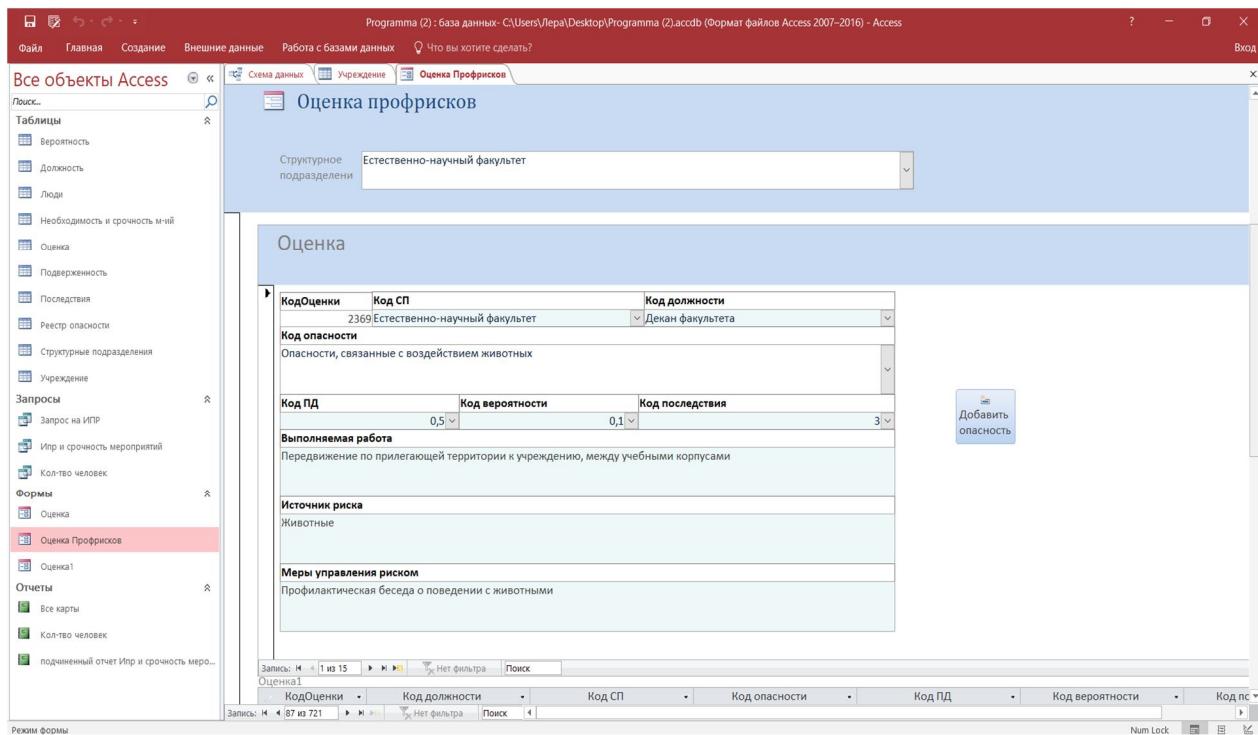


Рис. 10. Первый способ добавления опасностей

Fig. 10. First way to add hazards

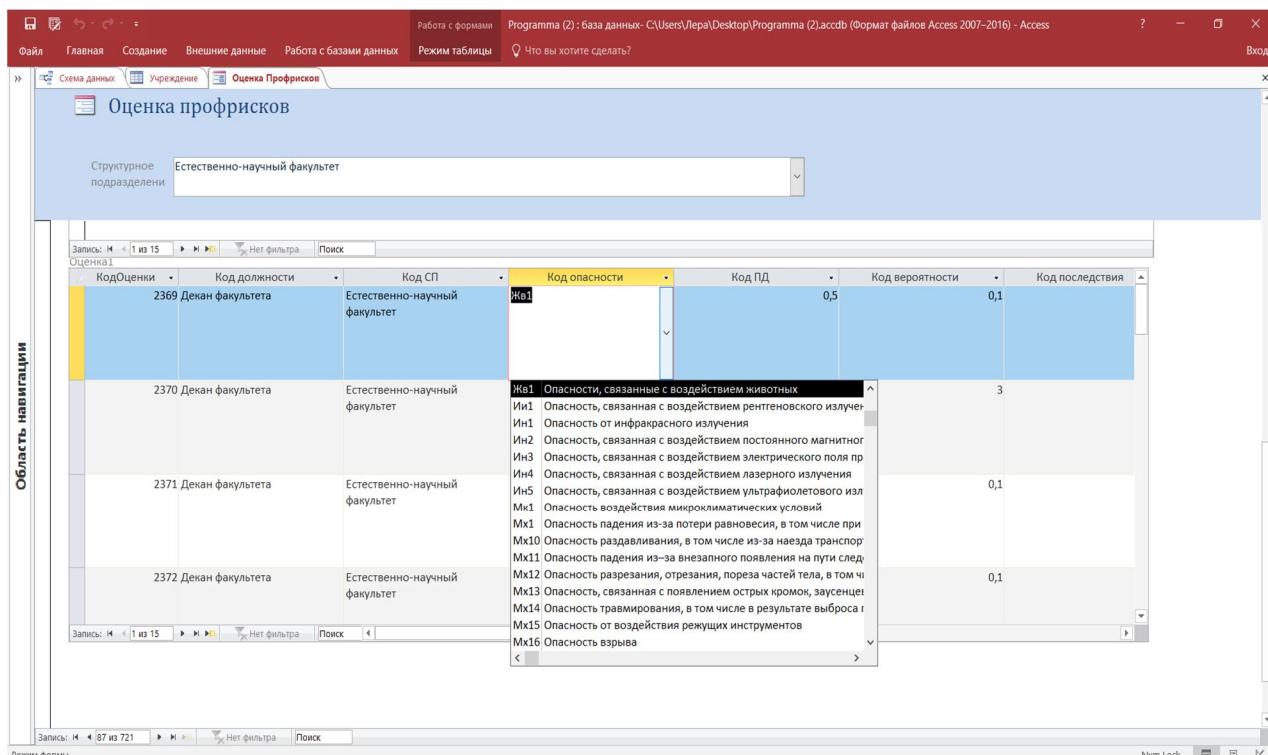
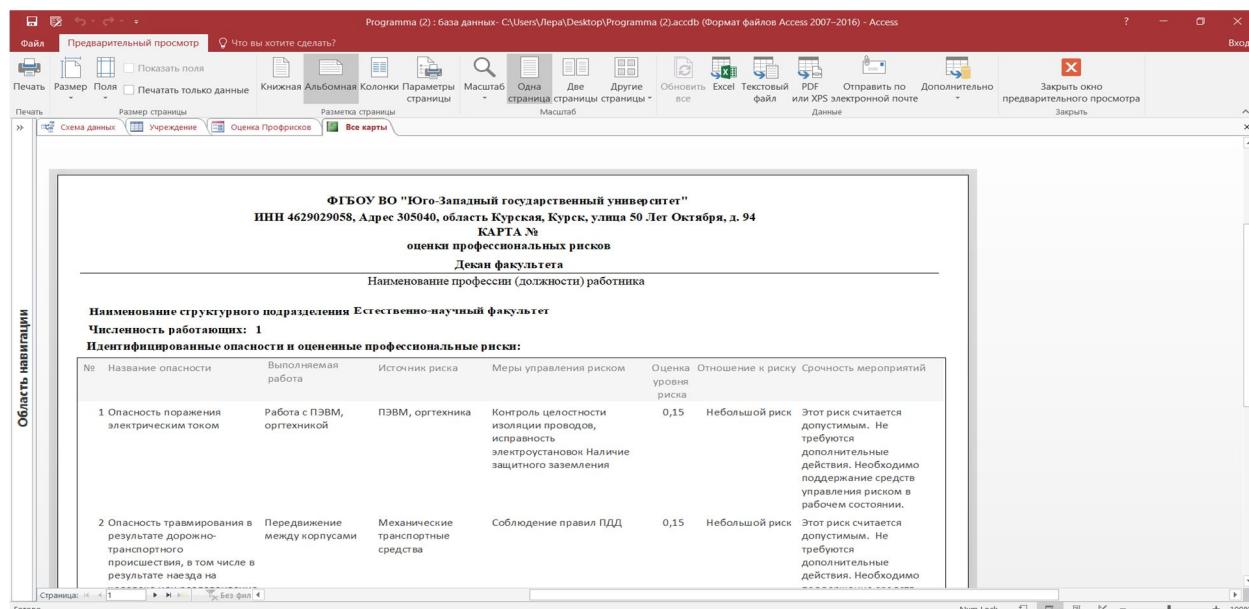


Рис. 11. Второй способ добавления опасностей

Fig. 11. Second option for adding hazards

После внесения всех необходимых данных осуществляется вывод отчета на печать, после чего отображается карта профессиональных рисков к выбранной должности.

Предварительный просмотр карты профессиональных рисков, составленной с помощью автоматизированной системы, представлен ниже (рис. 12).



**Рис. 12.** Сформированная карта оценки профессиональных рисков

**Fig. 12.** Occupational risk assessment map developed

На данной странице можно изучить данные карты оценки, которые были внесены ранее, после чего можно сохранить данную карту, или сразу отправить на печать.

## Выводы

Разработанная информационная система оценки профессиональных рисков позволяет автоматизировать процесс идентификации и оценки профессиональных рисков, способствует оперативному принятию решений, направленных на снижение вероятности возникновения профессиональных заболеваний и

профессионального травматизма в образовательной организации.

Сформированная информационная система прошла апробацию в ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» и доказала свою эффективность. Предложенные подходы к оценке профессионального риска внедрены в образовательный процесс. На основании разработанной модели базы данных в перспективе существует возможность создания интернет-портала для оценки профессиональных рисков.

### Список литературы

1. Юшин В. В., Попов В. М., Макушкин В. П. Проблемы оценки профессиональных рисков в России // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2012. № 2-2. С. 217-221.
2. Юшин В. В., Камардин М. А. Проблемы оценки профессиональных рисков на основе специальной оценки условий труда // Известия Юго-Западного государственного университета. 2015. № 1(58). С. 75-81.
3. Попов В. М., Юшин В. В., Камардин М. А. Анализ методов, схем оценки профессиональных рисков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 4-2(43). С. 173-177.
4. Попов В. М., Юшин В. В., Камардин М. А. Оценка профессионального риска на предприятиях легкой промышленности // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2012. № 1. С. 61-66.
5. Олещенко А. М., Пестерева Д. В. Факторы профессионального риска здоровья педагогов в условиях интенсификации их труда // Вестник Российской академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. 2018. № 21. С. 192-195.
6. Грогуленко Н. В., Туктарова И. Э. Управление профессиональными рисками и пути его совершенствования // Вестник современных исследований. 2018. № 11.3(26). С. 251-253.
7. Глушков В. А., Сальников А. С., Сайфутдинов Р. Проблемы создания и функционирования системы управления профессиональными рисками // Актуальные вопросы современной науки. 2015. № 44-1. С. 46-55.
8. Хайруллина Л. И., Тучкова О. А., Зиннатуллина Г. Н. Оценка профессиональных рисков на промышленных предприятиях: примеры оформления карт профессиональных рисков // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. 2019. № 3. С. 504-511.
9. Гавриченко А. И. О теории и закономерностях профессиональных рисков // Проблемы анализа риска. 2012. Т. 9, № 6. С. 86-92.
10. Сердюк В. С., Ушаков И. В. Недостатки методологической и информационной базы для оценки профессиональных рисков // Динамика систем, механизмов и машин. 2012. № 3. С. 350-352.
11. Сыросенко Л. И., Романович К. С., Матвеева А. Н. Оценка профессионального риска // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2016. Т. 1. С. 174-178.
12. Туринова Т. И. Совершенствование государственного управления профессиональными рисками: российский и зарубежный опыт // Россия: тенденции и перспективы

развития: Ежегодник / отв. ред. В. И. Герасимов. М.: Институт научной информации по общественным наукам РАН, 2016. С. 467-471.

13. Коваленко М. В. Проблемы оценивания профессиональных рисков в Российской Федерации // Аллея науки. 2017. Т. 3, № 9. С. 487-490.

14. Барков А. Н., Попов В. М., Шульга Л. В. Анализ существующих математических подходов к оценке профессионального риска // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2012. № 2-3. С. 296-300.

15. Турукина Д. А. Понятие данных. Понятие базы данных. Понятие системы управления базой данных // Актуальные проблемы современной науки. 2020. № 5(114). С. 178-179.

16. Кирильчук И. О., Барков А. Н., Шульга Л. В. Управление рисками, системный анализ и моделирование в техносферной безопасности. Курск: Университетская книга, 2018. 172 с.

17. Информационные технологии в управлении техносферной безопасностью / В. М. Попов, В. В. Юшин, И. О. Кирильчук, А. Н. Барков; Юго-Западный государственный университет. Курск, 2015. 108 с.

18. Юшин В. В., Камардин М. А. Перспективы использования гаджетов в оценке и управлении профессиональным риском // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 3(20). С. 80-86.

19. Интеллектуальная система управления риском возникновения профессиональных заболеваний / А. Н. Барков, Л. В. Шульга, В. Н. Мишустин, И. В. Будник // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т. 13, № 3. С. 748-753.

20. Совершенствование метода и алгоритма построения системы управления риском возникновения профессиональных заболеваний / А. Н. Барков, Л. В. Шульга, В. Н. Снопков, С. Н. Гонтарев, В. Д. Луценко // Известия Юго-Западного государственного университета. 2015. № 1(58). С. 65-75.

## References

1. Yushin V. V., Popov V. M., Makushkin V. P. Problemy ocenki professional'nyh riskov v Rossii [Problems of professional risk assessment in Russia]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceeding of the Southwest State University. Series: Equipment and Technology*, 2012, no. 2-2, pp. 217-221.
2. Yushin V. V., Kamardin M. A. Problemy ocenki professional'nyh riskov na osnove special'noj ocenki uslovij truda [Problems of occupational risk assessment based on a special assessment of working conditions]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceeding of the Southwest State University*, 2015, no. 1(58), pp. 75-81.

3. Popov V. M., Yushin V. V., Kamardin M. A. Analiz metodov, skhem ocenki professional'nyh riskov [Analysis of methods, schemes for assessing professional risks]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceeding of the Southwest State University*, 2012, no. 4-2(43), pp. 173-177.
4. Popov V. M., Yushin V. V., Kamardin M. A. Ocenka professional'nogo riska na predpriyatiyah legkoj promyshlennosti [Professional risk assessment at light industry enterprises]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceeding of the Southwest State University. Series: Equipment and Technology*, 2012, no. 1, pp. 61-66.
5. Oleshchenko A. M., Pestereva D. V. Faktory professional'nogo riska zdorov'ya pedagogov v usloviyah intensifikacii ih truda [Factors of professional risk of health of teachers in conditions of intensification of their work]. *Vestnik Rossijskoj akademii estestvennyh nauk. Zapadno-Sibirskoe otделение = Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences. West Siberian branch*, 2018, no. 21, pp. 192–195.
6. Grogulenko N. V., Tuktarova I. E. Upravlenie professional'nyimi riskami i puti ego sovershenstvovaniya [Management of professional risks and ways to improve it]. *Vestnik sovremennoj issledovanij = Bulletin of Modern Research*, 2018, no. 11.3(26), pp. 251-253.
7. Glushkov V. A., Salnikov A. S., Sayfutdinov R. Problemy sozdaniya i funkcionirovaniya sistemy upravleniya professional'nyimi riskami [Problems of creating and functioning a professional risk management system]. *Aktual'nye voprosy sovremennoj nauki = Topical Issues of Modern Science*, 2015, no. 44-1, pp. 46-55.
8. Hajrullina L. I., Tuchkova O. A., Zinnatullina G. N. Ocenka professional'nyh riskov na promyshlennyyh predpriyatiyah: primery oformleniya kart professional'nyh riskov [Assessment of professional risks at industrial enterprises: examples of professional risk maps]. *Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Scientific Works of the Kuban State Technological University*, 2019, no. 3, pp. 504-511.
9. Gavrichenko A. I. O teorii i zakonomernostyah professional'nyh riskov [On the theory and laws of occupational risks]. *Problemy analiza riska = Problems of Risk Analysis*, 2012, vol. 9, no. 6, pp. 86-92.
10. Serdyuk V. S., Ushakov I. V. Nedostatki metodologicheskoy i informacionnoj bazy dlya ocenki professional'nyh riskov [Shortcomings of methodological and information base for professional risk assessment]. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin = Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines*, 2012, no. 3, pp. 350-352.
11. Syrosenko L. I., Romanovich K. S., Matveeva A. N. Ocenka professional'nogo riska [Professional risk assessment]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona = Transport Infrastructure of the Siberian Region*, 2016, no. 1, pp. 174-178.

12. Turinova T. I. [Improvement of state management of professional risks: Russian and foreign experience]. Rossiya: tendencii i perspektivy razvitiya. Ezhegodnik [Russia: trends and development prospects: Yearbook]; ed. by V. I. Gerasimov. Moscow, Institute of Scientific Information on Social Sciences of the Russian Academy of Sciences Publ., 2016, pp. 467-471. (In Russ.)
13. Kovalenko M. V. Problemy ocenivaniya professional'nyh riskov v Rossijskoj Federacii [Problems of assessing professional risks in the Russian Federation]. *Alleya nauki = Alley of Scienc*, 2017, vol. 3, no. 9, pp. 487-490.
14. Barkov A. N., Popov V. M., Shul'ga L. V. Analiz sushchestvuyushchih matematicheskikh podhodov k ocenke professional'nogo riska [Analysis of existing mathematical approaches to the assessment of occupational risk]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceeding of the Southwest State University. Series: Equipment and Technology*, 2012, no. 2-3, pp. 296-300.
15. Turukina D. A. Ponyatie dannyh. Ponyatie bazy dannyh. Ponyatie sistemy upravleniya bazoj dannyh [The concept of data. The concept of a database. The concept of a database management system]. *Aktual'nye problemy sovremennoj nauki = Current Problems of Modern Science*, 2020, no. 5(114), pp. 178-179.
16. Kirilchuk I. O., Barkov A. N., Shulga L. V. Upravlenie riskami, sistemnyj analiz i modelirovanie v tekhnosfernoj bezopasnosti [Risk management, systems analysis and modeling in technosphere safety]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2018. 172 p.
17. Popov V. M., Yushin V. V., Kirilchuk I. O., Barkov A. N. Informacionnye tekhnologii v upravlenii tekhnosfernoj bezopasnost'yu [Information technologies in the management of technosphere safety]. Kursk, Southwest State University Publ., 2015. 108 p.
18. Yushin V. V., Kamardin M. A. Perspektivy ispol'zovaniya gadzhetov v ocenke i upravlenii professional'nym riskom [Prospects for using gadgets in assessing and managing professional risk]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceeding of the Southwest State University. Series: Equipment and Technology*, 2016, no. 3(20), pp. 80-86.
19. Barkov A. N., Shul'ga L. V., Mishustin V. N., Budnik I. V. Intellektual'naya sistema upravleniya riskom vozniknoveniya professional'nyh zabolevanij [Intelligent system for managing the risk of occupational diseases]. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskikh sistemah = System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2014, vol. 13, no. 3, pp. 748-753.
20. Barkov A. N., Shul'ga L. V., Snopkov V. N., Gontarev S. N., Lucenko V. D. Sovershenstvovanie metoda i algoritma postroeniya sistemy upravleniya riskom vozniknoveniya professional'nyh zabolevanij [Improving the method and algorithm for building a system for managing the risk of occupational diseases]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceeding of the Southwest State University*, 2015, no. 1(58), pp. 65-75.

---

### Информация об авторе / Information about the Author

**Барков Алексей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры охраны труда и окружающей среды, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: aleksebarkov@yandex.ru ORCID: 0000-0003-1448-8214, Researcher ID: N-9094-2016

**Alexey N. Barkov**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Labor Protection and Environment, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: aleksebarkov@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-1448-8214, Researcher ID: N-9094-2016

**Оригинальная статья / Original article**<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-46-60>

## **Повышение достоверности определения источника фрагментированных сообщений за счёт использования методов анализа времени поступления отдельных фрагментов**

**М. О. Таныгин<sup>1</sup> Д. Хемраев<sup>1</sup>, О. В. Казакова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

e-mail: tanygin@yandex.com

**Резюме**

**Цель исследования.** В статье рассматривается метод повышения достоверности аутентификации источников данных в распределенных информационных системах, использующих каналы связи с низкой пропускной способностью. Для таких систем характерен небольшой размер кодов аутентификации, содержащихся в отдельных сообщениях, что приводит к значительной частоте возникновения ошибок аутентификации.

**Методы.** В статье приведен алгоритм коррекции ошибок аутентификации, выполняемых для цепочек информационных блоков. За счёт анализа времени поступления в приёмник блоков формируется численная метрика для каждой цепочки сообщений, которая опознаётся приёмником как цепочка, сформированная целевым источником. Выбор цепочки осуществляется исходя из минимального значения рассчитанной метрики.

**Результаты.** Исходя из реальных временных характеристик доставки сетевых пакетов была создана имитационная модель формирования и проверки метрик, сформированных для цепочек сообщений. Показано, что в зависимости от значения моделируемых параметров передачи сетевых пакетов использование предлагаемой универсальной метрики позволяет с вероятностью до 80% выбирать из двух цепочек, опознаваемых приёмником как цепочки блоков целевого источника, ту, которая на самом деле сформирована им.

**Заключение.** В работе показано, что применение алгоритма анализа метаинформации – времени получения пакета данных – может быть использовано как средство повышения достоверности процедуры аутентификации, выполняемой для удалённого субъекта информационного обмена в условиях, когда использование обычных криптографических алгоритмов не даёт требуемую достоверность. Предлагаемый алгоритм обладает низкой вычислительной сложностью, легко реализуется аппаратно и позволяет снизить количество ошибок при обработке информационных пакетов данных.

---

**Ключевые слова:** информационные пакеты; удалённое взаимодействие; обработка информации; метаинформация; аутентификация; информационный поток.

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

---

© Таныгин М. О., Хемраев Д., Казакова О. В., 2021

**Для цитирования:** Таныгин М. О., Хемраев Д., Казакова О. В. Повышение достоверности определения источника фрагментированных сообщений за счёт использования методов анализа времени поступления отдельных фрагментов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 46–60. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-46-60>

Поступила в редакцию 15.10.2021

Подписана в печать 11.11.2021

Опубликована 20.12.2021

## Increasing the Reliability of Determining the Source of Fragmented Messages by Using Methods for Analyzing the Time of Receipt of Individual Fragments

Maxim O. Tanygin<sup>1</sup> , Dessen Hemrayev<sup>1</sup>, Olga V. Kazakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation  
 e-mail: tanygin@yandex.com

### Abstract

**Purpose of research.** The article discusses a method for increasing the reliability of authentication of data sources in distributed information systems using communication channels with low bandwidth. Such systems are characterized by a small size of authentication codes contained in individual messages, which leads to a significant frequency of authentication errors.

**Methods.** The article presents an algorithm for correcting authentication errors performed for chains of information blocks. Due to the analysis of the time of receipt of blocks to the receiver, a numerical metric is formed for each message chain, which is recognized by the receiver as a chain formed by the target source. The chain is selected based on the minimum value of the calculated metric.

**Results.** Based on the real time characteristics of network packet delivery, a simulation model was created for the formation and verification of metrics generated for message chains. It is shown that, depending on the value of the simulated parameters of network packet transmission, the use of the proposed universal metric allows with a probability of up to 80% to choose from two chains identified by the receiver as a chain of blocks of the target source the one that is actually formed by it.

**Conclusion.** The paper shows that the use of an algorithm for analyzing meta-information – the time of receiving a data packet - can be used as a means of increasing the reliability of the authentication procedure performed for a remote subject of information exchange in conditions when the use of conventional cryptographic algorithms does not provide the required reliability. The proposed algorithm has low computational complexity, is easily implemented in hardware and reduces the number of errors when processing information data packets.

**Keywords:** information packages; remote interaction; information processing; meta-information; authentication; information flow.

**Conflict of interest:** The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Tanygin M. O., Hemrayev D., Kazakova O. V. Increasing the Reliability of Determining the Source of Fragmented Messages by Using Methods for Analyzing the time of Receipt of Individual Fragments. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2021; 11(4): 46–60. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-46-60>

Received 15.10.2021

Accepted 11.11.2021

Published 20.12.2021

\*\*\*

## Введение

Традиционным методом определения источника поступающих в приёмник информационных пакетов является введение в состав таких пакетов специальных полей, содержащих в явном или зашифрованном виде идентификатор источника. Подобный подход ориентирован на ситуацию, при которой отсутствует любая априорная информация об источнике информационного пакета, а выдать пакет может любое из всего множества включённых в сеть устройств. В действительности нередки ситуации, когда взаимодействуют всего лишь несколько устройств. В этом случае можно говорить об информационной избыточности информации, содержащейся в таком идентификационном поле. И если для протоколов, где размер кадра составляет несколько килобайт, один – два байта дополнительной информации незначительно скажутся на общем объёме

информации, то для протоколов, в которых размер блока ограничен несколькими десятками байтов, они будут оказывать существенное влияние на пропускную способность канала. Примером таких протоколов могут быть протоколы<sup>1,2</sup> обмена данными между устройствами «Интернета вещей» и сенсорных сетей [1; 2; 3; 4]. С учётом того, что вероятность возникновения ошибки передачи пакетов у такого класса протоколов достаточна высока (до 10%), для них актуальной является задача снижения информационной избыточности идентификационных полей пакетов данных за счёт идентификации источника путём комбинации анализа содержимого идентификационных полей, а также некоторой априорной информации о свойствах информационного потока между устройствами.

<sup>1</sup> ПНСТ 354-2019. Информационные технологии. Интернет вещей. Протокол беспроводной передачи данных на основе узкополосной модуляции радиосигнала (NB-Fi). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200162760> (дата обращения: 15.09.2021).

<sup>2</sup> Предварительный национальный стандарт РФ. Информационные технологии. Интер-

нет вещей. Протокол обмена для высокомощных сетей с большим радиусом действия и низким энергопотреблением. URL: [https://drive.google.com/uc?id=12kPw5\\_ndO8zav7\\_BP\\_EXKdytu7uEyy3x&export=download](https://drive.google.com/uc?id=12kPw5_ndO8zav7_BP_EXKdytu7uEyy3x&export=download) (дата обращения: 15.09.2021).

## Материалы и методы

Пусть имеется структурированное множество поступивших в приёмник пакетов  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_n\}$ ,  $n$  – мощность данного множества. Под структурированным мы понимаем такое множество, в котором порядок пакетов имеет значение. Условие выдачи множества  $S$  конкретным источником может быть записано в виде

$$\begin{aligned} \exists S \subset U, |S| = n, & B(S, S^{\text{ID}}) = 1, \\ \forall S' \subset U, S' \neq S, |S'| = |S|, & B(S', S^{\text{ID}}) = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

где  $B$  – функция, исчисляемая на основании содержимого пакетов  $s_i \in S$   $i = \overline{1 \dots n}$  и идентификатора отправителя  $S^{\text{ID}}$ , принимающая значения: истина – в случае, если все элементы  $S$  сформированы источником, и ложь – в противном,  $U$  – множество всех пакетов, полученных приёмником;  $S'$  – произвольное множество пакетов мощностью  $n$ , полученных приёмником.

При этом позиция каждого  $R_i$  элемента множества  $s_i \in S$ ,  $i = \overline{1 \dots n}$  в самом множестве однозначно определяется параметром  $S^{\text{ID}}$  и содержимым пакета  $s_i$ :

$$R_i = F^R(s_i, S, S^{\text{ID}}), s_i \in S.$$

Если мы исследуем процесс опознавания источника пакетов на основе полей данных, которые содержат неполное описание информационного потока между субъектами [4; 7; 8], то существует ненулевая вероятность того, что среди всех возможных множеств  $S'$  найдётся такое  $S'$ , для которого функция принадлежности будет истинной:

$$\begin{aligned} \exists S' \subset U, S' \neq S, |S'| = |S| = n, \\ B(S', S^{\text{ID}}) = 1. \end{aligned} \quad (2)$$

При этом, основываясь на результатах предыдущих исследований и используемых функций принадлежности [5; 6; 7], можно сказать, что такое множество в реальных условиях передачи будет отличаться от  $S$  на несколько пакетов, т. е. для пересечения множеств будет верно соотношение

$$0 < |S' \cap S| < n. \quad (3)$$

На основании использованных в работе решающих правил разделения множества пакетов в такой ситуации невозможно принять решение о том, какое из двух множеств сформировано целевым источником с идентификатором  $S^{\text{ID}}$ . Подобную ситуацию будем называть коллизией. В случае её наступления вероятность правильного определения будет равна 50%. Целью настоящей работы является использование методов анализа метаинформации для повышения вероятности правильного определения множества пакетов источника при коллизиях. Под метаинформацией понимаем такую информацию, которую несут события, связанные с поступлением пакетов в приёмник, для передачи которой не требуются дополнительные биты самих пакетов. В качестве таковой выберем время поступления  $t(s)$ ,  $s \in U$  информационного пакета в приёмник.

Рассмотрим ситуацию, при которой множества  $S$  и  $S'$  отличаются на один пакет под номером  $n_f$ :

$$\begin{aligned} S / (S^f \cup S) &= s_{n_f}, S^f / (S^f \cup S) = \\ &= s_{n_f}^f, n_f \in \{1, 2, \dots, n\}. \end{aligned} \quad (4)$$

В результате мы имеем два временных ряда:

$$\begin{aligned} T &= \{t(s_1), t(s_2), \dots, t(s_{n_f-1}), t(s_{n_f}), \\ &\quad t(s_{n_f+1}), \dots, t(s_n)\}, \\ T^f &= \{t(s_1), t(s_2), \dots, t(s_{n_f-1}), t(s_{n_f}^f), \\ &\quad t(s_{n_f+1}), \dots, t(s_n)\}. \end{aligned}$$

На основе их анализа необходимо сформулировать решающее правило, позволяющее выбирать ряд  $T$  с вероятностью, значимо превышающей 50%.

Для анализа временных рядов существует несколько основных подходов. Сглаживание значений ряда всегда включает некоторый способ локального усреднения отдельных данных или групп данных. В результате несистематические компоненты взаимно погашают друг друга [8], удаляя «шумы» и артефакты из последовательности. Существуют различные способы сглаживания, основные – это метод скользящей средней и метод экспоненциального сглаживания. Относительно реже, когда ошибка измерения очень большая, используется метод сглаживания методом наименьших квадратов, взвешенных относительно расстояния, или метод отрицательного экспоненциально взвешенного сглаживания [9].

Другим методом анализа рядов является использование трендов [10]. Трендом называется характеристика

процесса изменения явления за длительное время, освобожденная от случайных колебаний, создаваемых второй группой факторов. В отличие от вариации явлений в пространственной совокупности, измеряемой по отклонениям уровней для отдельных единиц совокупности от их средней величины, колебаниями следует называть отклонения уровней отдельных периодов времени от тенденции динамики (тренда).

Большую популярность в последнее время получили нейросети, используемые для решения задач неформального получения качественных характеристик некоторых поледовательностей, в т. ч. их можно использовать и для анализа временных рядов [11]. Аппарат свёрточных нейронных сетей – мощный инструмент для классификации временных рядов. Они очень редко проигрывают в качестве традиционным методам, а иногда даже и превосходят их результаты.

В то же время все описанные выше подходы используют либо сложные вычисления, включающие возведение в степень, или нестандартные схемотехнические решения, как те же нейросети. Перед нами стояла задача реализовать формирование некоторой численной метрики с помощью простых математических операций, реализуемых стандартными логическими элементами. В настоящей работе мы выбрали подход, основанный на формировании некото-

рой численной характеристики для каждого из двух рядов и принятии решений об истинности ряда на основании взаимного сравнения.

Для составления модели оценки временных интервалов между ИБ из УИ будем считать, что время между генерацией УИ и поступлением его в УП складывается из двух слагаемых:

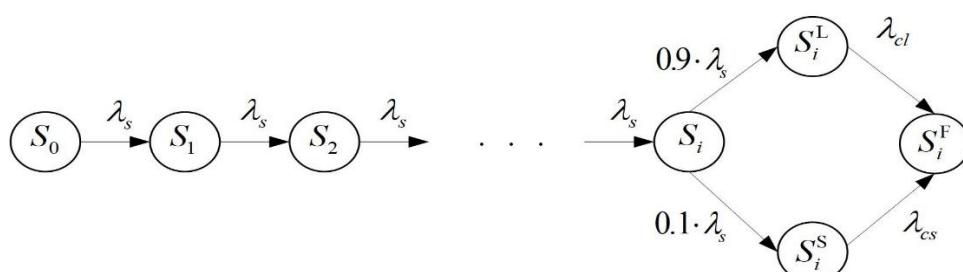
1) времени, формирования и выдачи ИБ в канал;

2) задержек, возникающих в канале.

УИ формирует и выдаёт ИБ через некоторые временные интервалы  $\tau_s$ , величина которых подчинена экспоненциальному закону распределения. В случае работы источника приёмника, осуществляющего прослушивание канала и ожидание его освобождения множеством УИ, такая модель может быть адекватной допустить.

Для моделирования задержек, возникающих в канале, предположим, что существует два неравновероятных варианта доставки ИБ: без помех и с ошибкой, создавшей значительную задержку при поступлении пакета в УИ. Так мы

смоделируем систему с так называемыми «тяжёлыми концами» функции плотности распределения [12], т. е. систему, в которой редкое событие оказывает значительное влияние на время доставки ИБ. Подобные результаты были описаны в работах [13; 14; 15; 16; 17], и предложенная модель обладает схожими характеристиками. Тогда, считая распределения времени доставки без помех и с помехой экспоненциальным, смоделируем передачу ИБ марковским процессом, для которого характерно именно такое распределение вероятностей пребывания системы в состояния. Граф этого процесса приведён на рисунке 1, где  $i$  – порядковый номер ИБ, для которого мы рассчитываем время поступления в УП;  $\lambda_s$  – интенсивность формирования ИБ источником;  $\lambda_{cl}$  – интенсивность передаче ИБ без задержки, величина, обратная среднему времени прохождения ИБ по каналу  $T_{cl}$ ;  $\lambda_{cs}$  – интенсивность передаче ИБ с задержкой, величина, обратная среднему времени задержки  $T_{cs}$ .



**Рис. 1.** Граф цепи Маркова, моделирующей доставку ИБ в УП

**Fig. 1.** Graph of the Markov chain modeling the delivery of information security to the UP

На основании экспериментальных результатов [13; 15] была выбрано соотношение между вероятностями длительной и короткой задержки как 1 к 9, что отражено в интенсивности переходов из состояния  $S_i$  в  $S_i^S$  и  $S_i^L$ . Исходя из этих же данных выбиралось и отношение  $\lambda_{cs} / \lambda_{cl} = 7 \dots 15$ . Соотношение  $\lambda_{cs} / \lambda_c$  при моделировании бралось в диапазоне 0,4 ... 1,5, которые были отношениями интенсивностей в экспоненциальном распределении временных интервалов между соседними пакетами.

В разработанной имитационной модели анализа времени поступления пакетов формировались исходя из высказанного при фиксированных соотношениях  $\lambda_{cs}/\lambda_{cl}$  и  $\lambda_{cs}/\lambda_c$  два массива.

В результате мы имеем два временных ряда:

1) массив времени доставки пакетов источника  $T_1 = \{t_1, t_2, \dots, t_{n_f-1}, t_{n_f}, t_{n_f+1}, \dots, t_n\}$ ;

2) альтернативный массив, в котором один пакет отличается временем доставки:  $T_2 = \{t_1, t_2, \dots, t_{n_f-1}, t'_{n_f}, t_{n_f+1}, \dots, t_n\}$ .

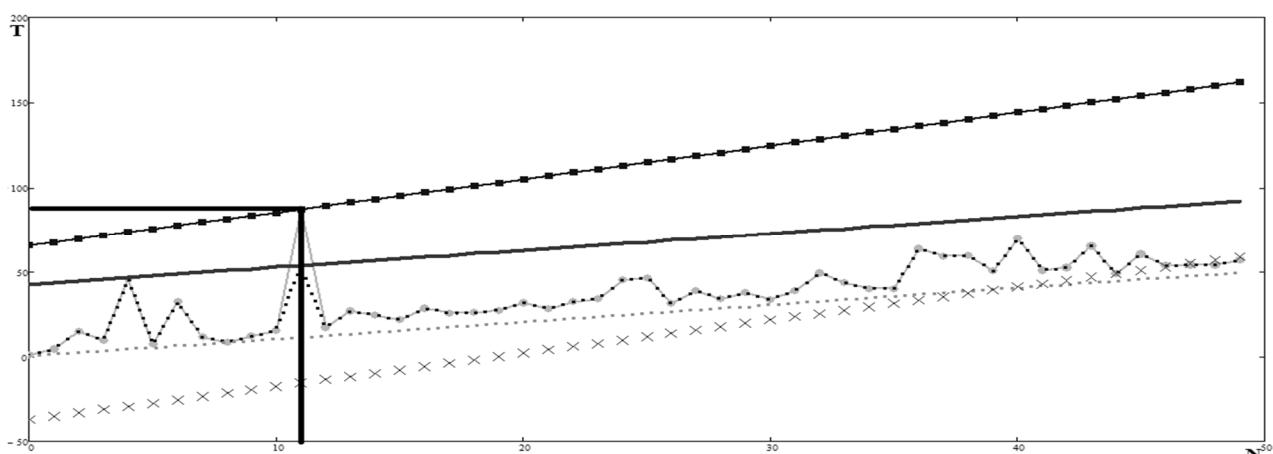
Индекс пакета, в котором возникла коллизия  $n_f$ , определялся как дискретная случайная величина в диапазоне 1 ...  $n$  с равномерным распределением. Само значение  $t'_{n_f}$  являлось непрерывной случайной величиной из диапазона

$$\min(T_1) - 0,2[\max(T_1) - \min(T_1)] \dots \\ \max(T_1) + 0,2[\max(T_1) - \min(T_1)]. \quad (5)$$

Ширина данного диапазона и его размещение относительно минимального и максимального времени получения пакета в цепочке определены исходя из формируемого временного интервала для обработки пакетов [18].

## Результаты и их обсуждение

В основе метода определения истинной цепочки блоков лежит исчисление численной метрики, являющейся площадью трапеции, основаниями которой служат прямые, параллельные оси ординат, проведённые в точках 1 и  $n$ , а боковыми гранями – прямые, ограничивающие сверху и снизу временной ряд (рис. 2).



**Рис. 2.** Графическая иллюстрация метода формирования численной характеристики для последовательности времён поступления пактов в приёмник

**Fig. 2.** Graphical illustration of the method of forming a numerical characteristic for a sequence of times of arrival of pacts to the receiver

Уравнения этих прямых, ограничивающих трапецию, записутся как

$$\begin{aligned} t(i) &= \frac{(t_{i_{\max}} - t_{j_{\max}})}{i_{\max} - j_{\max}} i + \left[ t_{i_{\max}} - \frac{(t_{i_{\max}} - t_{j_{\max}})}{i_{\max} - j_{\max}} i_{\max} \right], i = 1 \dots n, \\ \exists i_{\max}, j_{\max} \rightarrow & \frac{(t_{i_{\max}} - t_{j_{\max}})}{i_{\max} - j_{\max}} i + \left[ t_{i_{\max}} - \frac{(t_{i_{\max}} - t_{j_{\max}})}{i_{\max} - j_{\max}} i_{\max} \right] \geq t_i; \end{aligned} \quad (6)$$

для верхней прямой и для нижней

$$\begin{aligned} t(i) &= \frac{(t_{i_{\min}} - t_{j_{\min}})}{i_{\min} - j_{\min}} i + \left[ t_{i_{\min}} - \frac{(t_{i_{\min}} - t_{j_{\min}})}{i_{\min} - j_{\min}} i_{\min} \right], i = 1 \dots n, \\ \exists i_{\min}, j_{\min} \rightarrow & \frac{(t_{i_{\min}} - t_{j_{\min}})}{i_{\min} - j_{\min}} i + \left[ t_{i_{\min}} - \frac{(t_{i_{\min}} - t_{j_{\min}})}{i_{\min} - j_{\min}} i_{\min} \right] \leq t_i, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $i_{\max}$  и  $j_{\max}$  – точки, через которые проходит верхняя ограничивающая прямая;  $i_{\min}$  и  $j_{\min}$  – точки, через которые проходит нижняя ограничивающая прямая;  $t_{i_{\max}}$ ,  $t_{j_{\max}}$ ,  $t_{i_{\min}}$ ,  $t_{j_{\min}}$  – время поступления соответствующих пакетов в приёмник.

Находятся указанные точки методом последовательного перебора, сложность данной операции  $O(n(n-1))$ .

Для каждого параметра моделирования проводилось до  $10^4$  экспериментов

$$\begin{aligned} S(T) &= \frac{(t_{i_{\min}} - t_{j_{\min}})(n+1)}{2} + \left[ t_{i_{\max}} - \frac{(t_{i_{\max}} - t_{j_{\max}})}{i_{\min} - j_{\min}} i_{\min} \right] - \\ &- \frac{(t_{i_{\min}} - t_{j_{\min}})(n+1)}{2} - \left[ t_{i_{\min}} - \frac{(t_{i_{\min}} - t_{j_{\min}})}{i_{\min} - j_{\min}} i_{\min} \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

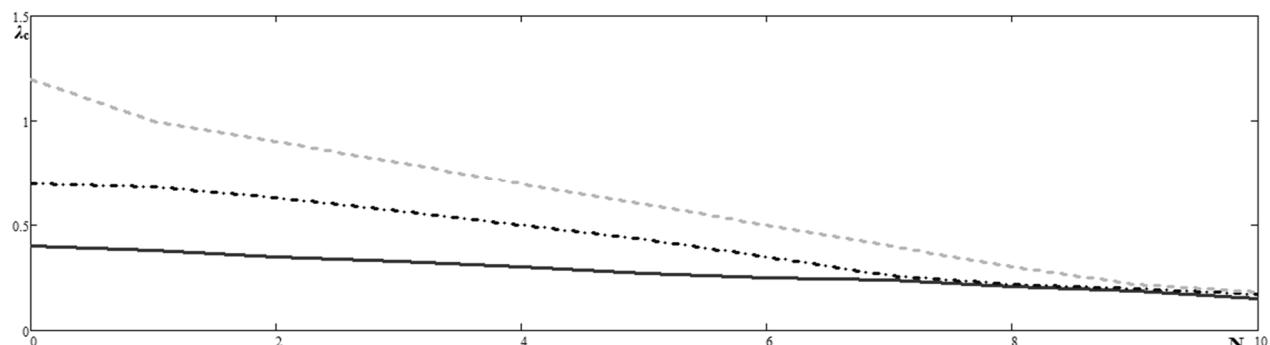
Ошибка метода по результатам эксперимента фиксировалась, если  $S(T_1) \geq S(T_2)$ . На рисунке 3 представлен график доли зафиксированных ошибок от общего числа опытов, которую мы будем интерпретировать как вероятность ошибки определения источника последовательности.

[19], в каждом из которых для массивов  $T_1$  и  $T_2$  рассчитывалась указанная метрика  $S$ :

Видно, что с уменьшением вероятности возникновения длительной задержки при доставке пакета (увеличении отношения  $\lambda_{cs} / \lambda_{cl}$ ) вероятность принятия правильного решения растёт. Связано это с тем, что при отсутствии длительных задержек график массива  $T_1$  становится более ровным, лишённым значительных отклонений времени до-

ставки от тренда, на фоне чего пакет постороннего источника, время доставки

которого распределено в широком диапазоне, даёт резкое увеличение значения метрики  $S$ .



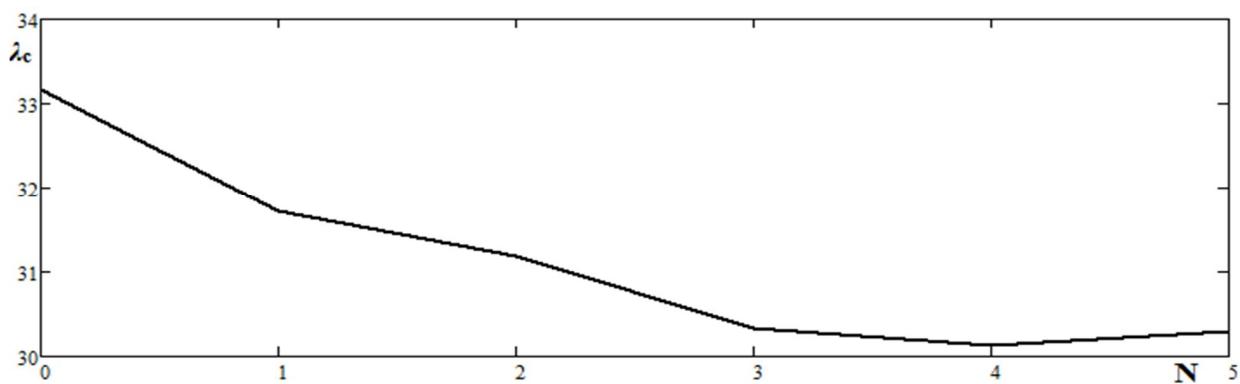
**Рис. 3.** Зависимость ошибки определения источника последовательности от отношения  $\lambda_{cs} / \lambda_{cl}$  вероятностей доставки пакета без задержки и с задержкой при числе пакетов в последовательности  $n = 30$ : а –  $\lambda_c = 0,4$ ; б –  $\lambda_c = 0,7$ ; в –  $\lambda_c = 1,2$

**Fig. 3.** The dependence of the error in determining the source of the sequence on the ratio  $\lambda_{cs} / \lambda_{cl}$  of the probabilities of packet delivery without delay and with delay when the number of packets in the sequence is  $n = 30$ : a –  $\lambda_c = 0,4$ ; b –  $\lambda_c = 0,7$ ; c –  $\lambda_c = 1,2$

На рисунке 4 показано влияние интенсивности доставки пакетов  $\lambda_c$  на вероятность ошибки.

Снижение вероятности ошибки с ростом интенсивности доставки пакетов объясняется уменьшением абсолютных значений интервалов между получением пакетов приемником, что выражается в уменьшении относительного разброса

этих значений относительно трендового значения. Кроме этого, аналогичные исследования проводились при разной длине последовательности пакетов. Диапазон длины последовательности, при которой метод можно признать эффективным (ошибка менее 20%), – от 20 до 50.



**Рис. 4.** Зависимость ошибки определения источника последовательности от отношения интенсивности доставки пакета  $\lambda_c$  при числе пакетов в последовательности  $n = 30$  и отношении вероятностей доставки пакета без задержки и с задержкой  $\lambda_{cs} / \lambda_{cl} = 0,8$

**Fig. 4.** The dependence of the error in determining the source of the sequence on the ratio of the intensity of packet delivery  $\lambda_c$  with the number of packets in the sequence  $n = 30$  and the ratio of the probabilities of packet delivery without delay and with delay  $\lambda_{cs} / \lambda_{cl} = 0,8$

## Выводы

Результаты проведённых исследований и имитационного моделирования позволяют утверждать, что использование анализа времени доставки пакетов как дополнительного критерия при определении источника данных позволяет повысить достоверность выполнения процедур идентификации и аутентификации [20; 21]. Само время доставки пакета при этом рассматривается как метаинформация, т. е. информация, получаемая приёмником вместе с данными, но не требующая затрат на её передачу [22]. Показано, как использование простого в реализации алгоритма анализа времени доставки, применяемого к це-

почке пакетов данных, позволяет уменьшить результирующую ошибку, определенную для используемых протоколов аутентификации, в 3–4 раза.

Рассматриваемый метод предполагается использовать как вспомогательный для алгоритмов аутентификации данных в системах, в которых размер кода аутентификации каждого пакета данных не позволяет достичь приемлемой для системы достоверности. Алгоритм обработки времени доставки последовательности пакетов отличается простотой аппаратной реализации и низкой вычислительной сложностью, что позволяет использовать его в автономных системах и энергоэффективных модулях управления.

## Список литературы

1. Беспроводные сенсорные сети / Б. Я. Лихтциндер, Р. Ва. Киричек, Е. Д. Федотов, Е. Ю. Голубничая, А. А. Кочуров. М.: Горячая линия–Телеком, 2020. 236 с.
2. Перри Л. Архитектура интернета вещей. М.: ДМК Пресс, 2018. 454 с.
3. Битнер В. И., Михайлова Ц. Ц. Сети нового поколения – NGN. М.: Горячая линия–Телеком, 2011. 226 с.
4. 802.15.4-2015. IEEE Standard for Low-Rate Wireless Personal Area Networks // IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/ieeestd.2016.7460875>.
5. Tanygin M. O., Alshaeeaa H. Y., Kuleshova E. A. A method of the transmitted blocks information integrity control // Radio Electronics, Computer Science, Control. 2020. N 1. P. 181–189.
6. Таныгин М. О. Обнаружение при программном управлении работой устройства команд, выданных посторонними программами // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание – 2003: сборник материалов VI Международной

конференции / Курский государственный технический университет. Курск, 2003. С. 178–179.

7. Tanygin M. O. Method of Control of Data Transmitted Between Softwareand Hardware // Комп'ютерні науки та інженерія: матеріали IV Міжнародної конференції молодих вчених CSE–2010. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. С. 344–345.
8. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. М.: Мир, 1974. 197 с.
9. Большаков А. А., Каримов Р. Н. Методы обработки многомерных данных и временных рядов. М.: Горячая линия–Телеком, 2007. 520 с.
10. Алиев Т. И., Муравьева-Витковская Л. А. Приоритетные стратегии управления трафиком в мультисервисных компьютерных сетях // Известия вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 6. С. 44–49.
11. Афанасьев В. Н., Юзбашев М. М. Анализ временных рядов и прогнозирование. М.: Финансы и статистика, 2001. 228 с.
12. Balakrishnan N. Handbook of the Logistic Distribution. New York: Marcel Dekker, 1992.
13. Муравьева-Витковская Л. А. Оценка структурных параметров маршрутизатора при приоритетном управлении неоднородным трафиком с произвольным распределением длин пакетов // Известия вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 10. С. 951–956.
14. Экспериментальные исследования реакции сети связи и эффектов перенархтуализации информационных потоков в условиях динамического изменения сигнально-помеховой обстановки / С. И. Макаренко, О. В. Афанасьев, И. А. Баранов, Д. В. Самофалов // Журнал радиоэлектроники. 2016. № 4. С. 2.
15. Фарашиани М. А., Муравьева-Витковская Л. А. Анализ соответствия генерируемого при моделировании потока заявок реальному трафику в компьютерных сетях // Известия вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 1. С. 10–13.
16. Зайцев В., Соколов Н. Особенности мультисервисного трафика с учетом сообщений, создаваемых устройствами IoT // Первая миля. 2017. № 4. С. 44–47.
17. Лоднева О. Н., Ромасевич Е. П. Анализ трафика устройств интернета вещей // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018. Т. 14, № 1. С. 149–169.
18. Таныгин М. О. Теоретические основы идентификации источников информации, передаваемой блоками ограниченного размера: монография. Курск: Университетская книга, 2020. 198 с.

19. Михеева Т. В. Обзор существующих программных средств имитационного моделирования при исследовании механизмов функционирования и управления производственными системами // Известия Алтайского государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. № 1(61). 2009. С. 87-90.
20. Zviran M. Identification and Authentication: Technology and Implementation Issues // Communications of the Association for Information Systems. 2006. N 17. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.01704>.
21. Andress J. Identification and Authentication // The Basics of Information Security. 2014. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800744-0.00002-6>.
22. Пат. 2436247 Российская Федерация, Н04Л 1/18. Способ и устройство для передачи пакетных данных с небольшим объемом служебной информации и управления режимом приема / Голмиех А., Ахуджа Б., Шапонньер Э., Монтохо Х., Ландби С. А., Чанде В. Заявл. 17.08.07; опубл. 27.09.10.

### References

1. Lichtzinder B. Ya., Kirichek R. Va., Fedotov E. D., Golubnichaya E. Yu., Kochurov A. A. Besprovodnye sensornye seti: uchebnoe posobie [Wireless sensor networks. Textbook for universities]. Moscow, Hotline-Telecom Publ., 2020. 236 p.
2. Perry L. Arkhitektura interneta veshchei [Architecture of the Internet of Things]. Moscow, DMK Press Publ., 2018. 454 p.
3. Bitner V. I., Mikhailova Ts. Ts. Seti novogo pokoleniya – NGN [Networks of a new generation]. Moscow, Hotline-Telecom Publ., 2011. 226 p.
4. 802.15.4-2015. IEEE Standard for Low-Rate Wireless Personal Area Networks. IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/ieeestd.2016.7460875>
5. Tanygin M. O., Alshaeaa H. Y., Kuleshova E. A. A method of the transmitted blocks information integrity control. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2020, no. 1, pp. 181–189.
6. Tanygin M. O. [Detection of commands issued by extraneous programs during software control of the device operation]. Optiko-elektronnye pribory i ustroistva v sistemakh raspoznavaniya obrazov, obrabotki izobrazhenii i simvol'noi informatsii. Raspoznavanie – 2003. Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoi konferentsii [Optoelectronic devices and devices in image recognition systems, image processing and symbolic information. Recognition – 2003. Collection of materials of the 6th International Conference]. Kursk, Kursk State Technical University Publ., 2003, pp. 178–179. (In Russ.)

7. Tanygin M. O. Method of Control of Data Transmitted Between Softwareand Hardware. Computer Science and Engineering. Materials of the IV International Conference of Young Scientists CSE-2010. Lviv, Vidavnitstvo Lvivskoї politekhniki Publ., 2010, pp. 344–345.
8. Box J., Jenkins G. Analiz vremennykh ryadov. Prognoz i upravlenie [Time series analysis. Forecast and management]. Moscow, Mir Publ., 1974. 197 p.
9. Bolshakov A. A., Karimov R. N. Metody obrabotki mnogomernykh dannykh i vremennykh ryadov [Methods of processing multidimensional data and time series]. Moscow, Hotline-Telecom Publ., 2007. 520 p.
10. Aliyev T. I., Muravyeva-Vitkovskaya L. A. Prioritetnye strategii upravleniya trafikom v mul'tiservisnykh komp'yuternykh setyakh [Priority strategies for traffic management in multiservice computer networks]. *Izvestiya vuzov. Priborostroenie = Proceedings of Universities. Instrumentation*, 2011, vol. 54, no. 6, pp. 44–49.
11. Afanasyev V. N., Yuzbashev M. M. Time series analysis and forecasting: Textbook. Moscow, Finance and Statistics Publ., 2001. 228 p.
12. Balakrishnan N. Handbook of the Logistic Distribution. New York, Marcel Dekker, 1992.
13. Muravyeva-Vitkovskaya L. A. Otsenka strukturnykh parametrov marshrutizatora pri prioritetnom upravlenii neodnorodnym trafikom s proizvol'nym raspre-deleniem dlin paketov [Evaluation of the structural parameters of a router with priority management of heterogeneous traffic with an arbitrary distribution of packet lengths]. *Izvestiya vuzov. Priborostroenie = Proceedings of Universities. Instrumentation*, 2017, vol. 60, no. 10, pp. 951–956.
14. Makarenko S. I., Afanasyev O. V., Baranov I. A., Samofalov D. V. Eksperimental'nye issledovaniya reaktsii seti svyazi i effektov peremarshrutizatsii informatsionnykh potokov v usloviyakh dinamicheskogo izmeneniya signal'no-pomekhovoи obstanovki [Experimental studies of the reaction of the communication network and the effects of re-routing of information flows in the conditions of dynamic changes in the signal-interference situation]. *Zhurnal radioelektroniki = Journal of Radio Electronics*, 2016, no. 4, p. 2.
15. Farashiani M. A., Muravyeva-Vitkovskaya L. A. Analiz sootvetstviya generi-ruemogo pri modelirovani potoka zayavok real'nomu trafiku v komp'yuternykh setyakh [Analysis of the correspondence generated by modeling the flow of applications to real traffic in computer networks]. *Izvestiya vuzov. Priborostroenie = Proceedings of Universities. Instrumentation*, 2017, vol. 60, no. 1. pp. 10-13.
16. Zaitsev V., Sokolov N. Osobennosti mul'tiservisnogo trafika s uchetom soobshchenii, sozdavaemykh ustroistvami IoT [Features of multiservice traffic taking into account messages generated by IoT devices]. *Pervaya milya = First Mile*, 2017, no. 4, p. 44–47.

17. Ledneva O. N., Romasevich E. P. Analiz trafika ustroistv interneta veshchei [Traffic analysis of Internet of Things devices]. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT Education*, 2018, vol. 14, no. 1, pp. 149–169.
18. Tanygin M. O. Teoreticheskie osnovy identifikatsii istochnikov informatsii, peredavaemoi blokami ogranicennogo razmera: monografiya [Theoretical foundations of identification of sources of information transmitted by blocks of limited size]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2020. 198 p.
19. Mikheeva T. V. Obzor sushchestvuyushchikh programmnykh sredstv imitatsionnogo modelirovaniya pri issledovanii mekhanizmov funktsionirovaniya i upravleniya proizvodstvennymi sistemami [Review of existing simulation software tools in the study of mechanisms of functioning and management of production systems]. *Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika = Proceedings of the Altai State University. Series: Management, Computer Engineering and Computer Science*, 2009, no. 1(61), pp. 87-90.
20. Zviran M. Identification and Authentication: Technology and Implementation Issues. *Communications of the Association for Information Systems*, 2006, no. 17. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.01704>
21. Andress J. Identification and Authentication. The Basics of Information Security. 2014. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800744-0.00002-6>
22. Golmeh A., Ahuja B., Chaponnier E., Montojo H., Landby S. A., Chande V. Sposob i ustroistvo dlya peredachi paketnykh dannykh s nebol'shim ob'emom sluzhebnoi informatsii i upravleniya rezhimom priema [Method and device for transmitting packet data with a small amount of service information and control of the reception mode]. Patent RF, 2436247, 2007.

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Таныгин Максим Олегович**, кандидат технических наук, заведующий кафедры информационной безопасности, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: tanygin@yandex.com, ORCID: 0000-0002-4099-1414

**Maxim O. Tanygin**, Cand. of Sci. (Engineering), Head of the Department of Information Security, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: tanygin@yandex.com, ORCID: 0000-0002-4099-1414

**Хемраев Дессан**, студент кафедры информационной безопасности, Юго-Западный государственный университет, г. Курск,  
Российская Федерация,  
e-mail: dessanhemrayev@gmail.com,  
ORCID: 0000-0001-5117-8376

**Dessan Hemrayev**, Student of the Department of Information Security, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,  
e-mail: dessanhemrayev@gmail.com,  
ORCID: 0000-0001-5117-8376

**Казакова Ольга Викторовна**, студент кафедры информационной безопасности, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,  
e-mail: olya.kazakova.2000@mail.ru,  
ORCID: 0000-0002-7755-3151

**Olga V. Kazakova**, Student of the Department of Information Security, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,  
e-mail: olya.kazakova.2000@mail.ru,  
ORCID: 0000-0002-7755-3151

### Исследование засаливания рабочей части стоматологического вращающегося режущего инструмента с модифицированной металлической связкой

Л. В. Половнева<sup>1,2</sup> , В. П. Чуев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет  
ул. Победы 85, г. Белгород 308015, Российская Федерация

<sup>2</sup> Опытно-экспериментальный завод «ВладМиВа»  
ул. Студенческая 19, г. Белгород 308023, Российская Федерация

 e-mail: l.polovneva@oezvladmiva.bizml.ru

#### Резюме

**Цель исследования.** Обработка поверхности зуба – это неотъемлемая часть работы стоматолога. Ежедневно врачи сталкиваются с клиническими случаями, которые предполагают препарирование или шлифование поверхности зуба, обработку пломбировочного материала или коронки. В процессе резания абразивные инструменты подвергаются периодическим и непрерывным силовым, тепловым и физико-химическим воздействиям, в результате чего их рабочие поверхности изнашиваются. Это может быть вызвано различными причинами.

На засаливаемость инструмента влияет морфология рабочей части инструмента, межалмазное пространство и высокая температура при трении в процессе резания. Цель работы заключается в аналитическом доказательстве эффективности способа изготовления гибридного вращающегося режущего инструмента (ВРИ) с модифицированной металлической связкой, обеспечивающей возможность уменьшения плотности заполнения его рабочей части и увеличения межалмазного пространства, что приведет к минимизации засаливания и обеспечит увеличение ресурса ВРИ и качества препарирования.

**Методы.** В статье рассмотрен анализ целесообразности способа снижения засаливаемости гальванического ВРИ за счёт дополнительного введения в металлическую связку боров алмазного микропорошка. В ходе исследования проведен сравнительный анализ засаливаемости стандартных и гибридных боров методом резания пластины стеклотекстолита. Для определения температуры в зоне резания использовали пластины из медицинской нержавеющей стали.

Засаливаемость  $\Delta m_3$  определяли как разность масс между массой инструмента после резания и конечной массой. Испытание проводили на стенде, позволяющем имитировать реальные условия нагрузения и износа ВРИ. Рельеф поверхности рабочей части определяли микроскопически.

---

© Половнева Л. В., Чуев В. П., 2021

**Результаты.** Положительный эффект предложенного способа подтвержден результатами сравнительных испытаний определения засаливаемости и температуры резания стандартного и модифицированного стоматологического ВРИ.

**Заключение.** Аналитическая оценка модифицированного инструмента показала значительное преимущество по самоочистке в сравнении со стандартным за счет минимизации засаливания рабочей части инструмента.

---

**Ключевые слова:** гибридные алмазные боры; засаливаемость; температура резания; межалмазное пространство; время износа; ВладМиВа.

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

**Для цитирования:** Половнева Л. В., Чуев В. П. Исследование засаливания рабочей части стоматологического врачающегося режущего инструмента с модифицированной металлической связкой // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 61–75. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-61-75>

Поступила в редакцию 07.10.2021

Подписана в печать 04.11.2021

Опубликована 20.12.2021

## Study of Clogging of the Working Part Dental Rotary Cutting Tool with Modified Metal Bond

Liliya V. Polovneva<sup>1,2</sup> , Vladimir P. Chuev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Belgorod State National Research University  
85 Victory str., Belgorod 308015, Russian Federation

<sup>2</sup> Experimental and experimental plant "VladMiVa"  
19 Student str., Belgorod 308023, Russian Federation

 e-mail: l.polovneva@oezvladmiva.bizml.ru

### Abstract

**Purpose of research.** Tooth surface treatment is an integral part of the dentist's job. Every day, specialists of a dental office are faced with clinical cases that involve the preparation or grinding of the tooth surface, the processing of filling material or a crown. In the process of cutting, abrasive tools are subjected to periodic and continuous power, thermal and physical-chemical influences, as a result of which their working surfaces wear out. This can be due to various reasons.

According to the literature data, the morphology of the working part of the tool, the inter-diamond space, and the high temperature during friction during the cutting process, to a greater extent affect the salting of the tool. The purpose of the work is to provide analytical proof of the effectiveness of a method for manufacturing a rotating abrasive cutting tool (VR) with a modified metal bond, which makes it possible to reduce the filling density of its working section and increase the inter-diamond space, which will lead to minimization of salting. This will ensure an increase in the VR resource and the quality of preparation.

**Methods.** The article discusses a method for reducing the salinity of a galvanic diamond tool due to the additional introduction of diamond powder into the metal bunch of burs, the size of which is 30-50% of the size of the working

*diamond, i.e. creating a hybrid dental rotary instrument. In the course of the study, a comparative analysis of the salinization of standard and hybrid burs by the method of cutting - 2mm thick plates made of fiberglass of the SF-1-50 brand (microhardness 62HV) was carried out.*

*The salinity  $\Delta m_s$  was determined as the difference in mass between the mass of the tool after cutting and the final mass. The test was carried out on a stand, which allows simulating the real conditions of loading and wear of the VRI, by drilling the plates with a radial feed of bora with a bur speed of 5000 rpm with a force of 4 N. The surface relief of the working part was determined microscopically. The assessment of the chemical composition of the VRI working section before and after tribological tests was carried out using an OXFORD energy dispersive microanalysis attachment of the TM3030 microscope.*

**Results.** The positive effect of the proposed method is experimentally confirmed by the results of comparative tests for determining the salinity and cutting temperature of a standard and modified diamond dental rotating instrument.

**Conclusion.** An analytical evaluation of the modified tool showed a significant performance advantage over a standard bur due to minimization of the contamination of the working part of the tool.

**Keywords:** dental rotating instrument; metal bond; hybrid diamond burs; salinity; cutting temperature; inter-diamond space; wear time; VladMiVa.

**Conflict of interest:** The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Polovneva L. V., Chuev V. P. Study of Clogging of the Working Part Dental Rotary Cutting Toolwith Modified Metal Bond. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2021; 11(4): 61–75. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-61-75>

Received 07.10.2021

Accepted 04.11.2021

Published 20.12.2021

\*\*\*

## Введение

В настоящее время огромное значение уделяется красоте и здоровью. И как правило, красивая улыбка – это результат кропотливой и грамотной работы стоматологов. Врач ежедневно сталкивается со значительным числом клинических случаев, которые требуют разнообразных методов их решения, различных операций: препарировать, резать, обтачивать, шлифовать, полировать и т. д. И в каждой процедуре используются врачающиеся режущие инструменты – стоматологические боры.

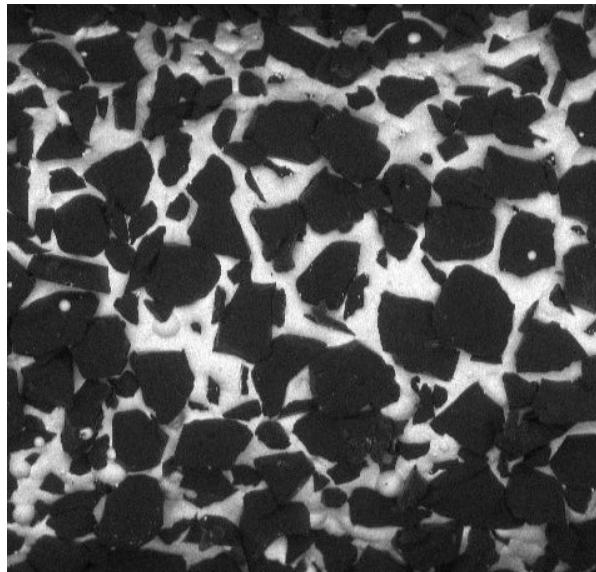
В своей работе врачу-стоматологу необходимо сделать правильный выбор инструмента, что помогает сэкономить время и повышает продуктивность его работы. Быстрое препарирование облегчает состояние пациента, повышает эффективность лечения [1; 2]. Работоспособность ВРИ напрямую зависит от рельефа его рабочей поверхности, достаточного межалмазного пространства и способности самоочищения от шлама [3; 4; 5]. Все это приводит к определенной степени засаливаемости инструмента.

Засаливание заключается в переносе шлама обрабатываемой поверхности на рабочую поверхность инструмента. Основная причина засаливания связана с забиванием пор между абразивными зернами и связкой мелкодисперсными частицами обрабатываемого материала с образованием спрессованного слоя, закрывающего выступающие зерна [6; 7; 8]. Засаливаемость приводит не только к изменению рельефа рабочей поверхности инструмента, к невозможности выполнения основной функции рабочего алмаза – снятию части обрабатываемой поверхности, но и к нагреванию инструмента за счет увеличения поверхности трения, что в свою очередь также способствует увеличению налипания шлама на инструмент.

Таким образом, на процесс засаливаемости ВРИ влияют морфология рабочей части и распределение температуры в процессе резания по всей его поверхности [9]. При препарировании разогретый алмаз локально нагревает связку, что приводит к ее деформации и повышает вероятность вырывания алмазного зерна [10; 11]. Возникает необходимость перераспределить температуру на больший объём связки для предотвращения потери рабочего зерна. Инженеры ОЭЗ «ВладМиВа» пришли к выводу о целесообразности разработки нового способа

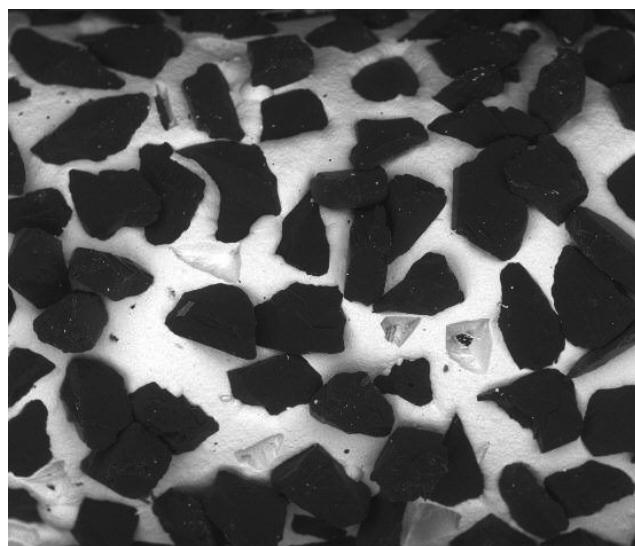
изготовления ротационного инструмента. На основании проведённых исследований запатентован способ изготовления алмазного инструмента (патент на изобретение № 2647723) [12; 13]. В результате исследований [14] модифицировали рельеф рабочей поверхности стандартных боров, добавив в связку алмазный порошок, составляющий 1/3 размера рабочего алмазного зерна. Это позволило повысить изотропию связки и алмаза. Мелкие алмазные зерна, контактируя с крупными, перераспределяют температуру на больший объём связки, тем самым уменьшая температуру рабочей части инструмента, а также снижают вероятность перегрева твердых тканей зуба и осложнения, им вызываемые: травматический пульпит, нарушение структуры твердых тканей зубов [15; 16].

Данный способ позволил создать инструмент с уменьшенной плотностью распределения алмазного зерна (рис. 1), порядка 50% (плотность покрытия у стандартного (рис. 2) инструмента 70%). Уменьшение количества рабочего алмаза приводит к увеличению оказываемой на него, нагрузки, что, казалось бы, приведет к ускоренной потере его из связки, но этого не происходит за счет создания плотного каркаса из мелкой фракции [17; 18].



**Рис. 1.** Рельеф рабочей части модифицированного гибридного стоматологического вращающегося инструмента с алмазом зернистости 125–160 / 40–50 мкм (100-кратное увеличение)

**Fig. 1.** The relief of the working part of the modified hybrid dental rotating instrument with diamond grain size 125–160 / 40-50 microns (100x magnification)



**Рис. 2.** Рельеф рабочей части стандартного стоматологического вращающегося инструмента с алмазом зернистости 125–160 мкм (100-кратное увеличение)

**Fig. 2.** The relief of the working part of a standard dental rotary instrument with diamond grain size 125-160 microns (100x magnification)

*Цель исследования – для подтверждения повышения эксплуатационных характеристик гибридного стоматологического алмазного инструмента провести сравнительный лабораторный анализ засаливаемости и температуры*

поверхности стандартных (125–160 мкм) и модифицированных (125–160/40–50 мкм) боров при резании различных материалов.

## Материалы и методы

Для проведения сравнительной характеристики были испытаны стоматологические боры каждого типоразмера в количестве по 10 штук.

В качестве материала для резания использовали пластины толщиной 2мм из стеклотекстолита марки СФ-1-50 (микротвердость 62HV) при определении засаливаемости и пластины из медицинской нержавеющей стали (микротвердость 478 HV) толщиной 2 мм при исследовании температуры резания.

Испытание проводили на стенде, позволяющем имитировать реальные условия нагружения и износа ВРИ, путем сверления пластин при радиальной подачей бора. Режущее устройство осуществляло резку при скорости вращения бора 5 000 об / мин с усилием 4 Н.

Засаливаемость  $\Delta m$  определяли как разность масс между массой инструмента после резания и конечной массой, т. е.

$$\Delta m_3 = m_p - m_{\text{кон}}, \quad (1)$$

где  $m_p$  – масса инструмента после резания;  $m_{\text{кон}}$  – масса ВРИ после резания обрабатываемой поверхности и очистки от шлама в ультразвуковой ванне в течение 3 мин.

Массу обрабатываемых образцов перед и после резания взвешивали на аналитических весах Sartorius серии CPA 224S, класс точности по ГОСТ Р 53228-2008 - I (специальный), d-0,0001г.

Оценка химического состава рабочей части ВРИ до и после трибологических испытаний при оценке засаливаемости инструмента проводилась с помощью приставки энергодисперсионного микроанализа OXFORD микроскопа TM3030.

Температура резания измерялась установлением контакта термопары мультиметра цифрового APPA-303 (диапазон измерений -50 до 1200°C, дискретность 0,1°C) с обрабатываемой пластиной, подвергающейся обработке при скорости вращения инструмента 5000 об/мин с усилием 4 Н. Для оценки рельефа поверхности рабочей части использовали изображение посредством настольного растрового электронного микроскопа-микроанализатора TM3030 HITACHI.

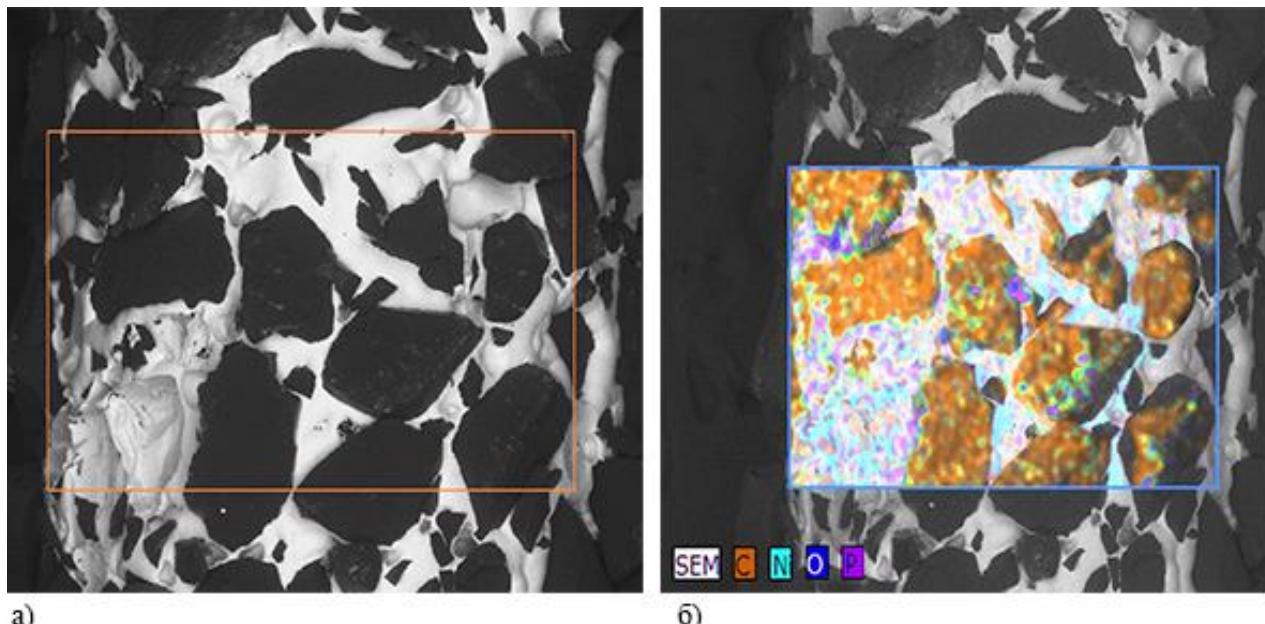
С целью удаления поверхностного шлама после стендового нагружения инструмент подвергали предстерилизационной очистке в ультразвуковой ванне с использованием 2%-ного раствора жидкости «Мегадез» в течение 1 минуты.

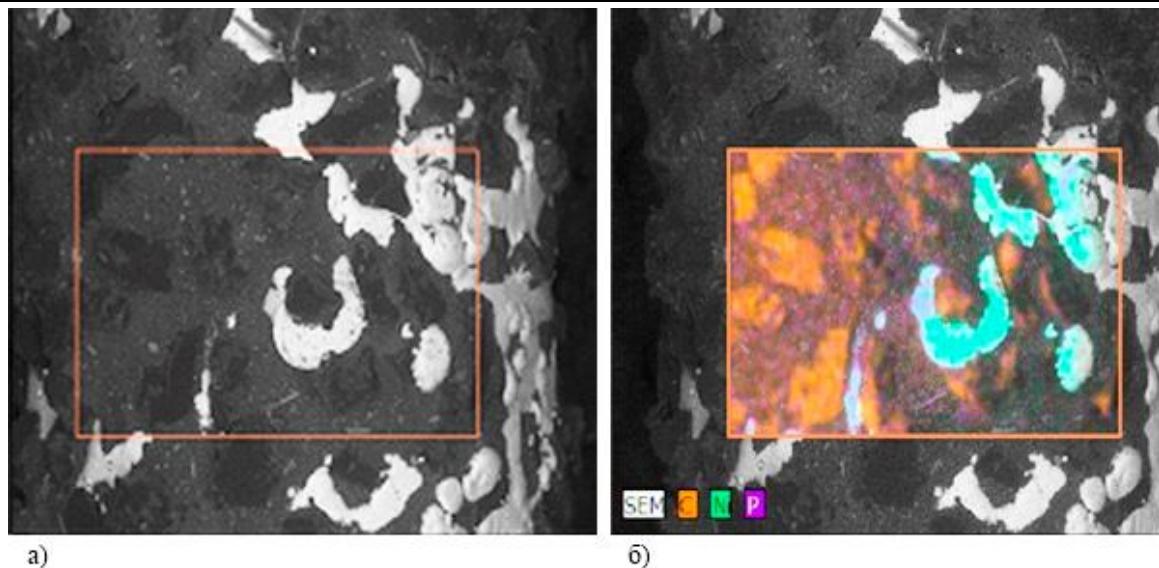
## Результаты и их обсуждение

После стендовых испытаний, изготовленных образцов ВРИ, при резании пластин текстолита в течение 15 мин и очистки в УЗ ванночке в течение 1 мин, провели оценку засаливаемости ( $\Delta m_3$ ) рабочей части изготовленных образцов. Результаты приведены в таблице 1 для исследуемых образцов, представленных на рисунке 3, 4.

**Таблица 1.** Результаты засаливаемости рабочей части боров после резания стеклотекстолита**Table 1.** The results of the salting of the working part of the burs after cutting the fiberglass

Характеристика образца	Среднее значение $\Delta m_3$ , г	Внешний вид исходной рабочей поверхности	Внешний вид рабочей поверхности после обработки
Стандартный образец 160–125 мкм	$8,0 \pm 0,9$	Однородное распределение алмазов одной фракции без следов загрязнений	Большое количество шлама в межалмазном пространстве, не позволяющее оценить присутствие алмазного зерна на рабочей поверхности (рис. 3)
Гибридный образец 160–125 / 50–40 мкм	$2,4 \pm 0,4$	Однородное распределение алмазов крупной и мелкой фракции без следов загрязнений	Наблюдается единичная потеря алмазного зерна, при этом минимальное количество шлама, сосредоточенное около крупного алмазного зерна (рис. 4)

**Рис. 3.** Внешний вид гибридного стоматологического врачающегося инструмента с алмазом, зернистости 125-160 / 40-50 мкм после резания(100-кратное увеличение): а – без учета элементного состава; б – с учетом элементного состава**Fig. 3.** Appearance of a hybrid dental rotary instrument with diamond, grit size 125-160 / 40-50 microns after cutting (100x magnification): a – without taking into account the elemental composition; б – taking into account the elemental composition

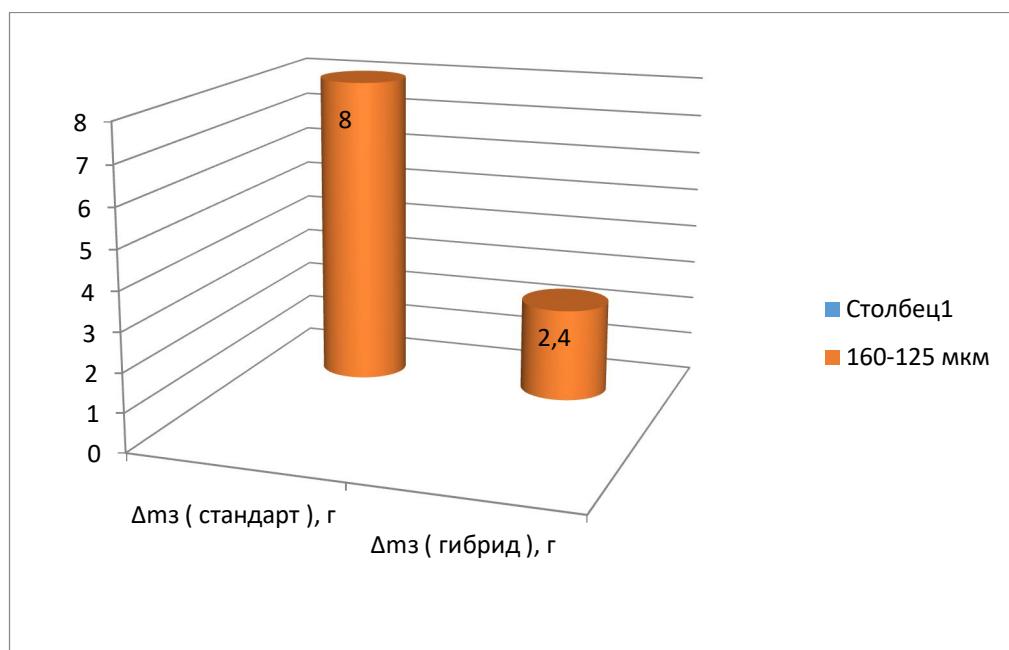


**Рис. 4.** Внешний вид рабочей части стандартного стоматологического врачающегося инструмента с алмазом зернистости 125-160 мкм после резания (100-кратное увеличение): а – без учета элементного состава; б – с учетом элементного состава

**Fig. 4.** Appearance of the working part of the standart dental rotating instrument with diamond, grain size 125-160 microns after cutting (100x magnification): a – without taking into account the elemental composition; б – taking into account the elemental composition

Диаграмма зависимости засаливаемости рабочей части боров после резания

стеклотекстолита представлена на рисунке 5.



**Рис. 5.** Результаты засаливаемости рабочей части боров после резания стеклотекстолита

**Fig. 5.** The results of the salting of the working part of the burs after cutting the fiberglass

Сравнивая изменение массы и внешний вид рабочей части образцов 160-125 и 160-125/ 50-40, видим, что после резания стандартными борами их рабочая часть загрязнена даже после очистки в УЗ-ванночке, что говорит о возможном припаивании шлама к связке бора за счет увеличения локальной температуры [19; 20]. Поверхность гибридного бора практически очищена после УЗ- воздействия, что доказывает возможное самоочищение при резании. Делаем вы-

вод, что введение в связку алмазного порошка, размер которого в три раза меньше размера рабочего алмаза, приводит к минимизации засаливаемости рабочей поверхности при достаточном удержании алмазного зерна.

Для определения величины локального экзотермического процесса, вызванного трением в зоне резания, образцы испытывали при резании стальной пластины в течение 30 и 60 с. Результаты измерения температуры при стендовых испытаниях приведены ниже (табл. 2).

**Таблица 2.** Температура стальной пластины при резании борами

**Table 2.** Temperature of the steel plate when cutting with burs

Наименование образца	Temperatura, °C		
	0 с	30 с	60 с
Стандартный образец 160-125 мкм	24,0±0,1	35,0±0,5	39,3±0,4
Гибридный бразец 160–125/50–40 мкм	24,0±0,1	32,9±0,2	34,8±0,3

Исследования показали, что минимальный нагрев при трении об обрабатываемую поверхность в течение времени вызывает гибридный инструмент. Время резания установили не более 60 с, для предотвращения изменения температуры, вызванного трением стали о связку после скальвания алмазного зерна, т. к. целью данного исследования являлось определение температуры резания при сохранении начальной морфологии инструмента. Согласно полученным данным, при резании в течение 30 с гибридным инструментом стальная пла-

стина нагревается на 37%, при обработке стандартным бором – на 45,8%. При резании в течение 60 с нагревается на 45% гибридным инструментом и на 63,8% стандартным бором. При этом мы видим, что при резании стандартным бором скорость нагрева обрабатываемой поверхности выше.

## Выводы

Анализ результатов проведённых испытаний показал, что введение в гальваническую связку стоматологического врачающегося инструмента более мелкого алмазного порошка приводит к

уменьшению засаливаемости инструмента в 3 раза, а также при минимальной потере алмазного зерна температура резания гибридного инструмента ниже стандартного, что свидетельствует о самоохлаждении бора, изготовленного

предлагаемым способом. Таким образом, аналитически доказана эффективность введения в связку каркасного микроАлмаза.

### **Список литературы**

1. Сравнительная оценка времени износа стандартных и гибридных алмазных боров при стендовом нагружении / И. В. Овчинников, Л. В. Половнева, В. П. Чуев, А. А. Копытов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. 2019. Т. 42, № 1. С. 73–82.
2. Бородовицна С. И., Глухова Е. А., Лавренюк Е. А. Основные технологии лечения кариеса зубов. Рязань: ОТСиОП, 2019. 100 с.
3. Гусев В. В., Медведев А. Л. Влияние механической характеристики инструмента для правки свободным абразивом на режущую способность алмазного шлифовального круга // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2013. № 4 (61). С. 98–103.
4. Increase in efficiency of electric powered diamond grinding of conductive material by regulating longitudinal profile of grinding wheels / V. Dobroskok, A. Shpilka, M. Morneva, N. Shpilka // TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture. 2014. Vol. 14, N 2. P. 26–33.
5. Алексеев Н. С., Капорин В. А., Иванов С. В. Шлифование микропористых покрытий импрегнированными кругами // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2015. № 3 (68). С. 66–74.
6. Янюшкин А. С., Попов В. Ю. Исследование режущих свойств алмазного инструмента на металлической связке // Инновации в машиностроении: сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции / под ред. Х. М. Рахимянова. Новосибирск: Издательство НГТУ, 2017. 592 с.
7. Повышение эффективности алмазного инструмента на металлической связке при шлифовании высокопрочных материалов / А. С. Ярюшкин, Д. В. Лобанов, В. Ю. Скиба, В. А. Гартфельдер, Л. С. Секлетина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2017. № 3 (76). С. 17–27.
8. Попов В. Ю., Ярюшкин А. С., Андронов А. Ю. Результаты комплексного изучения состава засаленного слоя алмазных кругов // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 1 (21). С. 114–120.

9. Нежинский Е. И. Взаимосвязь между параметрами конструкции, показателями эксплуатации и условиями процесса обработки алмазных отрезных сегментных кругов на гальванической связке на примере взаимосвязи параметра засаливаемости, обрабатываемого материала и глубины резания // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: сборник научных трудов V Международной научно-практической конференции. Курск: Университетская книга, 2015. С. 238–242.
10. Алмазный инструмент с дисперсно-упрочненной наночастицами связкой для резки высокоармированного бетона / А. А. Зайцев, Д. А. Сидоренко, Е. А. Левашов, В. В. Курбаткина, В. А. Андреев, С. И. Рупасов, П. И. Севастьянов // Сверхтвёрдые материалы. 2010. Т. 32, № 6. С. 78–89.
11. Разработка и применение дисперсно-упрочненной связки на основе сплава Cu-Ni-Fe-Sn для режущего инструмента из сверхтвёрдых материалов / А. А. Зайцев, Д. А. Сидоренко, Е. А. Левашов, В. В. Курбаткина, С. И. Рупасов, В. А. Андреев, П. И. Севастьянов // Сверхтвёрдые материалы. 2012. № 4. С. 75–88.
12. Патент 2647723 Российская Федерация. Способ изготовления алмазного инструмента / Половнева Л. В., Чуев В. П., Бузов А. А., Копытов А. А., Мишина Н. С. Опубл. 10.03.18, Бюл. № 8.
13. Отличительные особенности и конкурентные преимущества алмазных боров, выпускаемых АО «ОЭЗ «ВЛАДМИВА» / Л. В. Половнева, Н. С. Мишина, А. А. Копытов, А. В. Цимбалистов, В. П. Чуев // Медицинский алфавит. 2017. № 11. С. 35–39.
14. Дисперсное упрочнение наночастицами алмазного композиционного электрохимического покрытия / Н. И. Полушкин, А. В. Кудинов, В. В. Журавлёв, Н. Н. Степарева, А. Л. Маслов // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2011. № 4. С. 49–53.
15. Половнева Л. В., Чуев В. П. Модификация металлической связки для увеличения времени износа алмазных боров. Сравнительная оценка износостойкости стандартных и гибридных стоматологических боров // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2020. Т. 10, № 2. С. 126–139.
16. Шнип Е. В., Наумович С. А. Влияние современных методов препарирования на состояние тканей зубов в ортопедической стоматологии // Современная стоматология. 2016. № 4. С. 14–17.
17. Polushin N. I., Ovchinnikova M. S., Maslov A. L. The use of alumina nanoparticles as modifiers of galvanic binder of diamond tools // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 1040. P. 199–201.

18. Режущий инструмент: учебник для вузов / Д. В. Кожевников, В. А. Грешишников, С. В. Кирсанов, С. Н. Григорьев, А. Г. Схиртладзе / под общ. ред. С. В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2014. 520 с.
19. Малышев В. И. Технология изготовления режущего инструмента. Тольятти: Издательство ТГУ, 2014. 368 с.
20. Кожевников Д. В., Кирсанов С. В. Резание материалов. М.: Машиностроение, 2012. 304 с.

### References

1. Ovchinnikov I. V., Polovneva L. V., Chuev V. P., Kopytov A. A. Sravnitel'naya otsenka vremeni iznosa standartnykh i gibrnidnykh almaznykh borov pri stendovom nagruzhenii [Comparative assessment of the wear time of standard and hybrid diamond burs under bench loading]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Meditsina. Farmatsiya = Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Medicine. Pharmacy*, 2019, vol. 42, no. 1, pp. 73-82.
2. Borodovitsina S. I., Glukhova E. A., Lavrenyuk E. A. Osnovnye tekhnologii lecheniya kariesa zubov [Basic technologies for the treatment of dental caries: a manual for independent work of residents in the specialty Therapeutic dentistry]. Ryazan, OTSiOP Publ., 2019. 100 p.
3. Gusev V. V., Medvedev A. L. Vliyanie mekhanicheskoi kharakteristiki instrumenta dlya pravki svobodnym abrazivom na rezhushchuyu sposobnost' almaznogo shlifoval'nogo kruga [The influence of the mechanical characteristics of the free abrasive dressing tool on the cutting ability of the diamond grinding wheel]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Processing (Technology, Equipment, Tools)*, 2013, no. 4 (61), pp. 98–103.
4. Dobroskok V., Shpilka A., Morneva M., Shpilka N. Increase in efficiency of electric powered diamond grinding of conductive material by regulating longitudinal profile of grinding wheels. *TEKA. Commission Ofmotorization and Energetics in Agriculture*, 2014, vol. 14, no. 2, pp. 26–33.
5. Alekseev N. S., Kaporin V. A., Ivanov S. V. Hlifovanie mikroporistykh pokrytii impregnirovannymi krugami [Grinding of microporous coatings with impregnated wheels]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Processing (Technology, Equipment, Tools)*, 2015, no. 3 (68), pp. 66-74.
6. Yanyushkin A. S., Popov V. Yu. [Investigation of the cutting properties of metal-bonded diamond tools]. Innovatsii v mashinostroenii. Sbornik trudov VIII Mezhdunarodnoi

nauchno-prakticheskoi konferentsii [Innovations in mechanical engineering. Collection of works of the VIII International scientific and practical conference]; ed. by H. M. Rakhimyanova. Novosibirsk, Publishing House of NSTU, 2017. 592 p. (In Russ.)

7. Yanyushkin A. S., Lobanov D. V., Skiba V. Yu., Gartfelder V. A., Sekletina L. S. Povyshenie effektivnosti almaznogo instrumenta na metallicheskoi svyazke pri shlifovanii vysokoprochnykh materialov [Improving the efficiency of metal-bonded diamond tools when grinding high-strength materials]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Processing (Technology, Equipment, Tools)*, 2017, no. 3 (76), pp. 17-27.

8. Popov V. Yu., Yanyushkin A. S., Andronov A. Yu. Rezul'taty kompleksnogo izucheniya sostava zasalennogo sloya almaznykh krugov [Results of a comprehensive study of the composition of the salted layer of diamond wheels]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii = Systems. Methods. Technologies*, 2014, no. 1 (21), pp. 114 –120.

9. Nezhinsky E. I. [The relationship between design parameters, operating indicators and processing conditions for diamond cut-off segment wheels on a galvanic bond on the example of the relationship between the salinity parameter, the processed material and the depth of cut]. Innovatsii, kachestvo i servis v tekhnike i tekhnologiyakh. Sbornik nauchnykh trudov V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Innovations, quality and service in technology and technology. Collection of scientific papers of the 5th International Scientific and Practical Conference]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2015, pp. 238-242. (In Russ.)

10. Zaitsev A. A., Sidorenko D. A., Levashov E. A., Kurbatkina V. V., Andreev V. A., Rupasov S. I., Sevastianov P. I. Imaznyi instrument s dispersno-uprochnennoi nanochastitsami svyazkoi, dlya rezki vysokoarmirovannogo betona [Diamond tool with dispersion-hardened nanoparticles binder for cutting highly reinforced concrete]. *Sverkhtverdye materialy = Superhard Materials*, 2010, vol. 32, no. 6, pp. 78–89.

11. Zaitsev A. A., Sidorenko D. A., Levashov E. A., Kurbatkina V. V., Rupasov S. I., Andreev V. A., Sevastianov P. I. Razrabotka i primenie dispersno-uprochnennoi svyazki na osnove splava Cu-Ni-Fe-Sn dlya rezhushchego instrumenta iz sverkhtverdykh materialov [Development and application of dispersion-hardened binder based on Cu-Ni-Fe-Sn alloy for cutting tools made of superhard materials]. *Sverkhtverdye materialy = Superhard Materials*, 2012, no. 4, pp. 75-88.

12. Polovneva L. V., Chuev V. P. Buzov A. A., Kopytov A. A., Mishina N. S. Sposob izgotovleniya almaznogo instrumenta [A method of manufacturing diamond tools]. Patent RF, no. 2647723, 2018.

13. Polovneva L. V., Mishina N. S., Kopytov A. A., Tsimbalistov A. V., Chuev V. P. Otlichitel'nye osobennosti i konkurentnye preimushchestva almaznykh borov, vypuskaemykh

АО "ОЕЗ "VLADMIVA" [Distinctive features and competitive advantages of diamond burs produced by SEZ VLADMIVA JSC]. *Meditinskii alfavit = Medical Alphabet*, 2017, no. 11, pp. 35-39.

14. Polushin N. I., Kudinov A. V., Zhuravlev V. V., Stepareva N. N., Maslov A. L. Dispersnoe uprochnenie nanochastitsami almaznogo kompozitsionnogo elektrokhimicheskogo pokrytiya [Disperse hardening of diamond composite electrochemical coating by nanoparticles]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya = Bulletin of Higher Educational Institutions. Powder Metallurgy and Functional Coatings*, 2011, no. 4, pp. 49-53.
  15. Polovneva L. V., Chuev V. P. Modifikatsiya metallicheskoi svyazki dlya uvelicheniya vremeni iznosa almaznykh borov. Sravnitel'naya otsenka iznosostoikosti standartnykh i gibriddenykh stomatologicheskikh borov [Modification of a metal bundle for increasing the wear time of diamond burs. Comparative assessment of wear resistance of standard and hybrid dental burs]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoе priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Management, Computer Technology, Informatics. Medical Instrumentation*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 126-139.
  16. Shnip E. V., Naumovich S. A. Vliyanie sovremennykh metodov preparirovaniya na sostoyanie tkanei zubov v ortopedicheskoi stomatologii [The influence of modern methods of preparation on the state of dental tissues in orthopedic dentistry]. *Sovremennaya stomatologiya = Modern Dentistry*, 2016, no. 4, pp. 14-17.
  17. Polushin N. I., Ovchinnikova M. S., Maslov A. L. The use of alumina nanoparticles as modifiers of galvanic binder of diamond tools [The use of alumina nanoparticles as modifiers of galvanic binder of diamond tools]. *Advanced Materials Research = Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1040, pp. 199-201.
  18. Kozhevnikov D. V., Grechishnikov V. A., Kirsanov S. V., Grigoriev S. N., Skhirtladze A. G. Rezhushchii instrument [Cutting tool]; ed. by S. V. Kirsanov. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2014. 520 p.
  19. Malyshev V. I. Tekhnologiya izgotovleniya rezhushchego instrumenta [Manufacturing technology of cutting tools]. Tolyatti, TSU Publishing House, 2014. 368 p.
  20. Kozhevnikov D. V., Kirsanov S. V. Rezanie materialov [Cutting materials]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2012. 304 p.
-

**Информация об авторах / Information about the Authors**

**Половнева Лилия Васильевна**, аспирант кафедры информационных и робототехнических систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, начальник опытно-экспериментального отдела технического контроля АО «ОЭЗ «ВладМиВа», г. Белгород, Российской Федерации,  
e-mail: l.polovneva@oezvladmiva.bizml.ru, ORCID: 0000-0001-7392-1108

**Чуев Владимир Петрович**, доктор технических наук, академик Академии медико-технических наук Российской Федерации, профессор кафедры информационных и робототехнических систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Генеральный директор АО «ВладМиВа», г. Белгород, Российской Федерации,  
e-mail: postmaster @ vladmiva.ru, ORCID: 0000-0002-1033-0789, Researcher ID: AAH-3425-2019

**Liliya V. Polovneva**, Post-Graduate of the Department of Informationand Robotic Systems, Belgorod State National Research University, Head of Technical Control Department of JSC «SEZ "VladMiVa", Belgorod, Russian Federation, e-mail: l.polovneva@oezvladmiva.bizml.ru, ORCID: 0000-0001-7392-1108

**Vladimir P. Chuev**, Dr. of Sci. (Engineering), Academician of the Academies of Medical and Technical Sciences of the Russian Federation, Professor of the Department of Information and Robotic Systems, Belgorod State National Research University, General Director of JSC "SEZ "VladMiVa", Belgorod, Russian Federation, e-mail: postmaster @ vladmiva.ru, ORCID: 0000-0002-1033-0789, Researcher ID: AAH-3425-2019

**Оригинальная статья / Original article**<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-76-84>

## **Разработка системы для исследований в области лазерной цитометрии**

**Д. А. Кравчук<sup>1</sup> , К. А. Воронина<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета ул. Шевченко 2, корп. «Е», Ростовская область, г. Таганрог 347922, Российская Федерация

e-mail: kravchukda@sfedu.ru

**Резюме**

**Цели исследования.** В данной работе предложена структурная схема системы лазерной цитометрии, предназначеннной для проведения неинвазивных гематологических тестов. Актуальность данной работы заключается в возрастающем интересе к собственному здоровью, а также необходимости мониторинга изменения состояния пациента. Целью данной работы является разработка портативной системы лазерной цитометрии, представляющей собой диагностический комплекс и основанной на оптоакустическом эффекте – преобразовании оптического излучения в термоакустические волны в среде при длине волны лазера  $\lambda = 1064$  нм. Данный эффект позволит получить сведения о состоянии, форме и размерах форменных клеток крови, определить степень агрегации эритроцитов и уровень сатурации. Проточная цитометрия является технологией быстрого измерения параметров клетки и происходящих в ней процессов. Методика проточной цитометрии заключается в выявлении процессов поглощения и рассеяния света лазерного луча при прохождении через него клетки в потоке жидкости.

**Методы.** Основные задачи данного исследования заключаются в обосновании структурной схемы системы лазерной цитометрии, определении составляющих частей разрабатываемого устройства и выявлении связей между ними. В разработанной структурной схеме можно выделить два канала измерения – оптоакустический и дополнительный, основанный на допплерометрии. Сигнал, поступающий от дополнительного измерительного канала, даёт информацию о скорости движения крови, что позволяет внести поправки в получаемый от оптоакустического канала сигнал.

**Результаты.** В предложенной системе необходимо учитывать корректировки на скорость движения крови. В ходе данной работы была предложена структурная схема системы лазерной цитометрии, предназначеннной для проведения неинвазивного анализа крови. Структурная схема системы была выполнена в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3Д. Анализ, проведённый с использованием системы лазерной цитометрии, может дать информацию о различных заболеваниях и патологических изменениях в составе крови.

**Заключение.** Разрабатываемую систему лазерной цитометрии от других гемоанализаторов отличает неинвазивность, что может послужить отличным преимуществом в условиях, при которых инвазивное вмешательство невозможно либо сопряжено с определёнными трудностями.

---

**Ключевые слова:** оптоакустика; оптоакустический эффект; уровень агрегации эритроцитов; допплерометрия.

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

---

© Кравчук Д. А., Воронина К. А., 2021

**Для цитирования:** Кравчук Д. А., Воронина К. А. Разработка системы для исследований в области лазерной цитометрии // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 76–84. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-76-84>

Поступила в редакцию 20.10.2021

Подписана в печать 15.11.2021

Опубликована 20.12.2021

## Development of a System for Research in the Field of Laser Cytometry

Denis A. Kravchuk<sup>1</sup> , Ksenia A. Voronina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrumentation of the Southern Federal University

2 Shevchenko str., building "E", Rostov Region, Taganrog 347922, Russian Federation

 e-mail: kravchukda@sfedu.ru

### Abstract

**Purpose of research.** In this paper, we propose a block diagram of a laser cytometry system designed for non-invasive hematological tests. The relevance of this work lies in the growing interest in one's own health, as well as the need to monitor changes in the patient's condition. The aim of this work is to develop a portable laser cytometry system, which is a diagnostic complex and based on an optoacoustic effect - the conversion of optical radiation into thermo-acoustic waves in a medium at a laser wavelength  $\lambda = 1064$  nm. This effect will allow you to obtain information about the state, shape and size of uniform blood cells, to determine the degree of aggregation of erythrocytes and the level of saturation. Flow cytometry is a technology for the rapid measurement of cell parameters and processes occurring in it. The flow cytometry technique consists in identifying the processes of absorption and scattering of light from a laser beam when cells pass through it in a fluid flow.

**Methods.** The main tasks of this study are to substantiate the structural diagram of the laser cytometry system, determine the constituent parts of the device being developed and identify the connections between them. In the developed block diagram, two measurement channels can be distinguished: optoacoustic and additional, based on Doppler. The signal coming from the additional measuring channel provides information about the blood velocity, which will make it possible to make corrections to the signal received from the optoacoustic channel.

**Results.** In the proposed system, it is necessary to take into account the corrections for the blood velocity. In the course of this work, a structural diagram of a laser cytometry system was proposed for non-invasive blood analysis. The block diagram of the system was implemented in the computer-aided design system KOMPAS-3D. An analysis carried out using a laser cytometry system can provide information about various diseases and pathological changes in the composition of the blood.

**Conclusion.** The developed laser cytometry system is distinguished from other hemoanalyzers by its non-invasiveness, which can serve as an excellent advantage in conditions where invasive intervention is impossible or is fraught with certain difficulties.

**Keywords:** optoacoustics; optoacoustic effect; the level of aggregation of erythrocytes; dopplerometry.

**Conflict of interest:** The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Kravchuk D. A., Voronina K. A. Development of a System for Research in the Field of Laser Cytometry. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2021; 11(4): 76–84. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-76-84>

Received 20.10.2021

Accepted 15.11.2021

Published 20.12.2021

\*\*\*

## Введение

Состояние крови – это один из важнейших показателей состояния организма. Для своевременной и качественной диагностики на основе анализа крови предлагается использовать систему лазерной цитометрии, основанной на оптоакустическом эффекте.

В работе авторами предложена структурная схема системы лазерной цитометрии с дополнительным измерительным каналом для допплерометрии, позволяющая проводить неинвазивные и качественные анализы крови.

## Материалы и методы

Оптоакустический (ОА) метод заключается в термооптическом возбуждении акустических волн в среде при поглощении лазерного излучения [1]. ОА-эффект предлагается использовать при анализе крови в целях определения степени агрегации эритроцитов, уровня оксигенации и обнаружения внутриэритроцитарных инфекций [2; 3; 4; 5]. Наиболее распространённым хромофором крови является гемоглобин, концентрация которого влияет на поглощение инфракрасного ( $\lambda = 1064$  нм) лазерного излучения кровью [6], следовательно, путём анализа параметров акустических сигналов, сформированных в результате оптоакустического эффекта, можно

определить общую концентрацию гемоглобина [5; 7].

Цитометрия позволяет измерять физические и химические параметры отдельных клеток или частиц при анализе светопоглощения от изучаемых клеток при прохождении их через лазерный пучок [8]. Однако цитометрия, как правило, применяется для исследования биологической пробы – крови, изъятой из организма человека инвазивным путём.

## Результаты и их обсуждение

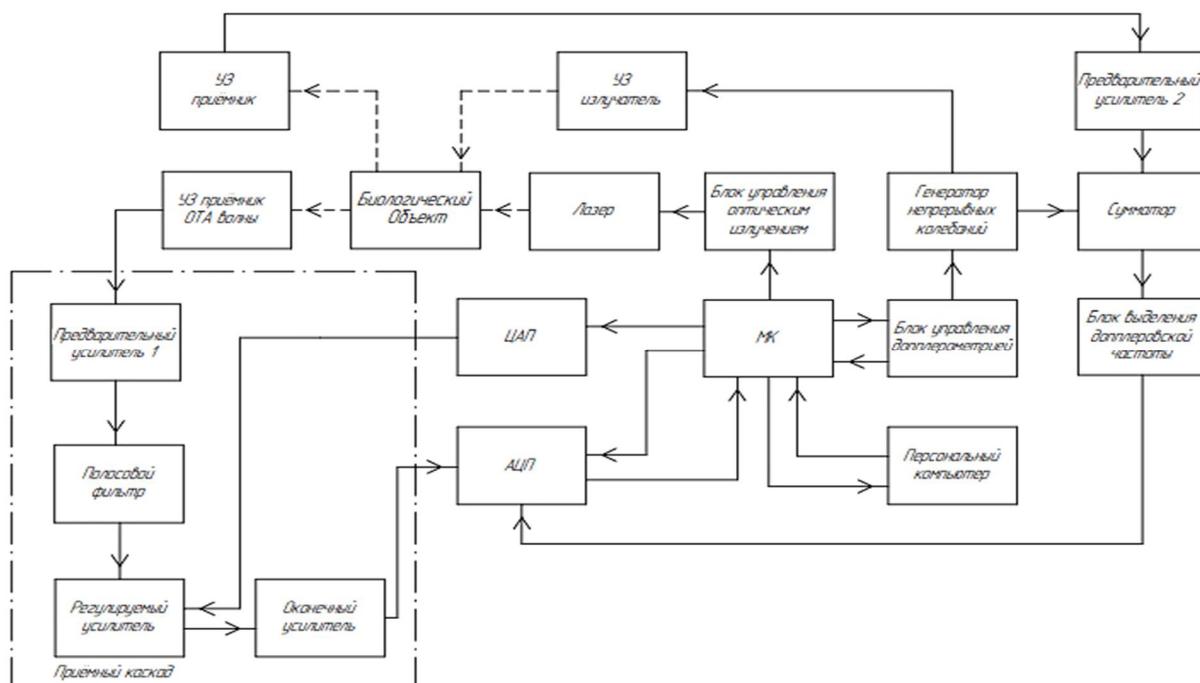
Разработанная структурная схема (рис. 1), отображает устройство системы лазерной цитометрии, выполнена в программе для трёхмерного проектирования КОМПАС-3D. В структурной схеме можно выделить два канала измерения – оптоакустический и дополнительный, основанный на допплерометрии.

Персональный компьютер (ПК) осуществляет управление микроконтроллером (МК). МК сопряжён с блоком управления оптическим излучением и блоком управления допплерометрией.

Рассмотрим работу оптоакустического измерительного канала. Блок управления оптическим излучением регулирует работу лазера. Лазерные импульсы длительностью 84 нс с частотой следования 10 кГц [9] облучают биологический объект (БО), в котором под

воздействием высокочастотного излучения возбуждаются термоакустические сигналы. Ультразвуковой (УЗ) приёмник оптотермоакустической (ОТА) волны, прилегающий к биологическому объекту, работает в диапазоне частот от 1 МГц до 15 МГц<sup>1</sup>, посредством прямого пьезоэлектрического эффекта преобразует ОТА волны в электрические сигналы. Полученные сигналы проходят через приёмный каскад, состоящий из предварительного усилителя 1, полосового фильтра, регулируемого усилителя и оконечного усилителя. Регулируемый усилитель управляет ся сигналами микроконтроллера, преобразующимися по-

средством цифроаналогового преобразователя (ЦАП). Верхняя граница полосы пропускания фильтра – 10 МГц, нижняя – 2 МГц. Коэффициент усиления приёмного каскада составляет 500000 раз: на предварительный усилитель 1 приходится усиление в 100 раз, на полосовой фильтр – 10, регулируемый усилитель осуществляет увеличение сигнала до 100 раз, оконечный усилитель – в 5 раз. Усиленный аналоговый сигнал из приёмного каскада трансформируется в цифровой с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) прямого преобразования, выбранный из расчёта портативности и быстродействия, далее цифровой сигнал поступает на ПК.



**Рис.** Комбинированная структурная схема системы лазерной цитометрии

**Fig.** Combined block diagram of a laser cytometry system

<sup>1</sup> Орда-Жигулина Д. В. Исследование оптоакустического эффекта в движущейся среде в присутствии наноразмерных объектов и разработка на его основе метода неинвази-

зивного исследования крови для мобильной медицины: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Таганрог, 2018. 16 с.

В основе действия дополнительного канала лежит эффект Доплера, позволяющий по разнице частот излучаемого и принимаемого сигнала от движущегося объекта определить его скорость ( $V$ ) и направление. В ультразвуковой доплерометрии, как правило, имеются неподвижный источник (УЗ-излучатель), неподвижный наблюдатель (УЗ-приёмник) и движущийся отражатель или рассеиватель ультразвука (кровь в биологическом объекте). Доплеровский сдвиг  $f_d$  можно вычислить, рассматривая его в системе приёмника и излучателя [10]:

$$f_d = \left( \frac{c - V \cos \theta_r}{c + V \cos \theta_t} - 1 \right) f_0,$$

где  $\theta_r$  и  $\theta_t$  – углы между вектором скорости и направлением излучения и приёма;  $f_0$  – частота излучения ( $f_0 = 2\text{--}2,5$  МГц [10]);  $c$  – скорость распространения излучения (для тканей человеческого организма  $c = 1540$  м/с [11]).

Блок управления доплерометрией регулирует генератор непрерывных колебаний, которые поступают на ультразвуковой излучатель и на сумматор. Ультразвуковой сигнал, проходя через БО, регистрируется УЗ-приёмником, усиливается предварительным усилителем 2 и подаётся на сумматор. Далее начальный и усиленный сигналы преобразуются и поступают на блок выделения доплеровской частоты. Аналоговый сигнал из данного блока преобразуется в цифровой с помощью АЦП и подаётся

на ПК через микроконтроллер в качестве поправочного коэффициента, учитывающего скорость движения крови.

Основным результатом данного исследования является предложенная структурная схема системы лазерной цитометрии. Разработанная система основана на оптоакустическом эффекте и эффекте Доплера, что позволит её использование для неинвазивного анализа крови человека без непосредственного вмешательства в организм человека. Дополнительный канал системы, основанный на эффекте Доплера, позволит вносить поправки на скорость кровотока, что сделает анализ более точным.

Для внедрения системы лазерной цитометрии необходимо провести ряд дополнительных исследований и испытаний, а также собрать экспериментальный прототип системы.

## Выводы

В данной статье авторами была предложена структурная схема системы лазерной цитометрии с дополнительным каналом для доплерометрии, позволяющим вносить поправки на скорость движения крови. В разрабатываемой системе необходимо учитывать данные, поступающие от дополнительного канала доплерометрии, так как анализ крови проводится неинвазивно.

Разрабатываемая система обеспечит качественный и быстрый анализ, отражающий такие важные показатели крови, как размер и форма форменных элементов крови, уровень сатурации и

степень агрегации эритроцитов, что сдвигает возможным определение различных заболеваний и воспалительных процессов [12; 13; 14; 15].

По предложенной в данной статье структурной схеме планируется создать портативную систему лазерной цито-

метрии, предназначенную для проведения неинвазивных гематологических тестов с помощью оптоакустического эффекта и эффекта Доплера. Также предполагается проведение математического и физического моделирования акустического отклика движущейся крови.

### Список литературы

1. Лазерное испарение поглощающей жидкости под прозрачным покрытием / А. А. Самохин, Н. Н. Ильичев, П. А. Пивоваров, А. В. Сидорин // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2016. № 5. С. 8-14.
2. Кравчук Д. А., Старченко И. Б. Теоретическая модель для диагностики эффекта кислородонасыщения эритроцитов с помощью оптоакустических сигналов // Прикладная физика. 2018. № 4. С. 89-94.
3. Kravchuk D. A. Mathematical model of detection of intra-erythrocyte pathologies using optoacoustic method // Biomedical Photonics. 2018. Vol. 7, N 3. P. 36-42.
4. Kravchuk D. A., Voronina K. A. Simulation of optoacoustic response from axisymmetric non-spherical shapes of red blood cells // Physics, Mechanics of New Materials and Their Applications. Proceedings of the 2019 International Conference on. Nova Science Publishers, Inc. 2020. N 11.
5. Кравчук Д. А. Моделирование восстановления оптоакустического изображения оксигенированных эритроцитов // Прикладная физика. 2021. № 2. С. 73-77.
6. Шахно Е. А. Физические основы применения лазеров в медицине. СПб.: НИИ ИТМО, 2012. 129 с.
7. Патент Российской Федерации 169745U1. Оптоакустический микроскоп для функционального биоимиджинга / Субочев П. В., Постникова А. С., Морозов А. Н., Орлова А. Г., Каменский В. А., Турчин И. В. Опубл. 30.03.17.
8. Методы проточной цитометрии. URL: <https://researchpark.spbu.ru/methods-biomed-rus/1912-bio-metod-06-rus> (дата обращения: 14.09.2021).
9. Кравчук Д. А., Орда-Жигулина Д. В., Слива Г. Ю. Экспериментальные исследования оптоакустического эффекта в движущейся жидкости // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 4 (189). С. 246–254.
10. Гаврелюк С. В., Левенец С. В. Влияние ваготонии на параметры гемодинамики и функцию эндотелия при длительной блокаде CB1 рецепторов каннабиноидов в

эксперименте // Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник української медичної стоматологічної академії. 2017. № 3 (59). С. 5-8.

11. Калинкина Е. М., Лисин А. А., Демин И. Ю. Графический интерфейс для моделирования сдвиговых волн в мягких биологических тканях // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине. 2020. № 1. С. 152-154.

12. Физические основы использования ультразвука в медицине / И. И. Резников, В. Н. Фёдорова, Е. В. Фаустов, А. Р. Зубарев, А. К. Демидова; Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова. М., 2015. 97 с.

13. Кравчук Д. А., Старченко И. Б. Модельная оценка уровня агрегации эритроцитов оптоакустическим методом // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2017. № 4 (40). С. 174-183.

14. Кравчук Д. А., Старченко И. Б. Математическое моделирование оптикоакустического сигнала от эритроцитов // Вестник новых медицинских технологий. 2018. Т. 25, № 1. С. 96–101.

15. Исследование оптоакустических сигналов на моделях эритроцитов в жидкости с контрастными наноагентами / Д. А. Кравчук, И. Б. Старченко, Д. В. Орда-Жигулина, К. А. Воронина // Акустический журнал. 2021. Т. 67, № 3. С. 345-348.

## References

1. Samokhin A. A., Ilyichev N. N., Pivovarov P. A., Sidorin A. V. Lazernoe isparenie pogloshchayushchei zhidkosti pod prozrachnym pokrytiem [Laser evaporation of absorbing liquid under transparent coating]. *Kratkie soobshcheniya po fizike FIAN = Brief Communications on Physics FIAN*, 2016, no. 5, pp. 8-14.
2. Kravchuk D. A., Starchenko I. B. Teoreticheskaya model' dlya diagnostiki effekta kislorodonasyshcheniya eritrocytov s pomoshch'yu optoakusticheskikh signalov [A theoretical model for diagnosing the effect of oxygen saturation of erythrocytes using optoacoustic signals]. *Prikladnaya fizika = Applied Physics*, 2018, no. 4, pp. 89-94.
3. Kravchuk D. A. Mathematical model of detection of intra-erythrocyte pathologies using optoacoustic method. *Biomedical Photonics = Biomedical Photonics*, 2018, vol. 7, no. 3, pp. 36-42.
4. Kravchuk D. A., Voronina K. A. Simulation of optoacoustic response from axisymmetric non-spherical shapes of red blood cells. *Physics, Mechanics of New Materials and Their Applications. Proceedings of the 2019 International Conference on*. Nova Science Publishers, Inc. 2020, no. 11.

5. Kravchuk D. A. Modelirovaniye vosstanovleniya optoakusticheskogo izobrazheniya oksigenirovannykh eritrocytov [Modeling the restoration of the optoacoustic image of oxygenated erythrocytes]. *Prikladnaya fizika = Applied Physics*, 2021, no. 2, pp. 73-77.
6. Shakhno E. A. Fizicheskie osnovy primeneniya lazerov v meditsine [Physical foundations of the use of lasers in medicine]. St. Petersburg, NII ITMO Publ., 2012. 129 p.
7. Subochev P. V., Postnikova A. S., Morozov A. N., Orlova A. G., Kamensky V. A., Turchin I. V. Optoakusticheskii mikroskop dlya funktsional'nogo bioimidzhainga [Optoacoustic microscope for functional bioimaging]. Patent RF, no. 169745U1, 2017.
8. Metody prototchnoi tsitometrii [Methods of flow cytometry]. Available at: <https://researchpark.spbu.ru/methods-biomed-rus/1912-bio-metod-06-rus>. (accessed 14.09.2021)
9. Kravchuk D. A., Orda-Zhigulina D. V., Sliva G. Yu. Eksperimental'nye issledovaniya optoakusticheskogo effekta v dvizhushcheisya zhirkosti [Experimental studies of the optoacoustic effect in a moving liquid]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki = Proceedings SFedU. Technical Science*, 2017, no. 4 (189), pp. 246-254.
10. Gavrelyuk S. V., Levenets S. V. Influence of vagotonia on hemodynamic parameters and endothelial function during prolonged blockade of CB1 receptors of cannabinoids in experiment. *Actual problems of current medicine: Bulletin of the Ukrainian Medical Stomatological Academy*, 2017, no. 3 (59), pp. 5-8.
11. Kalinkina E. M., Lisin A. A., Demin I. Yu. Graficheskii interfeis dlya modelirovaniya sdvigovykh voln v myagkikh biologicheskikh tkanyakh [Graphical interface for modeling shear waves in soft biological tissues]. *Metody komp'yuternoi diagnostiki v biologii i meditsine = Methods of Computer Diagnostics in Biology and Medicine*, 2020, no. 1, pp. 152-154.
12. Reznikov I. I., Fedorova V. N., Faustov E. V., Zubarev A. R., Demidova A. K. Fizicheskie osnovy ispol'zovaniya ul'trazvuka v meditsine [Physical foundations of the use of ultrasound in medicine]. Moscow, Russian National Research Medical University named after N. I. Pirogov Publ., 2015. 97 p.
13. Kravchuk D. A., Starchenko I. B. Model'naya otsenka urovnya agregatsii eritrocytov optoakusticheskim metodom [Model assessment of the level of aggregation of erythrocytes by the optoacoustic method]. *Priklaspiiskii zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii = Caspian Journal: Management and High Technologies*, 2017, no. 4 (40), pp. 174-183.
14. Kravchuk D. A., Starchenko I. B. Matematicheskoe modelirovaniye optiko-akusticheskogo signala ot eritrocytov [Mathematical modeling of the optical-acoustic signal from erythrocytes]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii = Bulletin of New Medical Technologies*, 2018, vol. 25, no. 1, pp. 96-101.
15. Kravchuk D. A., Starchenko I. B., Orda-Zhigulina D. V., Voronina K. A. Issledovanie optoakusticheskikh signalov na modelyakh eritrocytov v zhirkosti s kontrastnymi

nanoagentami [Study of optoacoustic signals on models of erythrocytes in liquid with contrast nanoagents]. *Akusticheskii zhurnal = Acoustic Journal*, 2021, vol. 67, no. 3, pp. 345-348.

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Кравчук Денис Александрович**, кандидат технических наук, доцент, Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета, г. Таганрог, Российская Федерация, e-mail: kravchukda@sfedu.ru

**Denis A. Kravchuk**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrumentation of the Southern Federal University, Electronics and Instrumentation, Taganrog, Russian Federation, e-mail: kravchukda@sfedu.ru

**Воронина Ксения Андреевна**, студент, Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета, г. Таганрог, Российская Федерация, e-mail: kvoronina@sfedu.ru

**Ksenia A. Voronina**, Student, Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrumentation of the Southern Federal University, Taganrog, Russian Federation, e-mail: kvoronina@sfedu.ru

# РАСПОЗНАВАНИЕ И ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

## IMAGE RECOGNITION AND PROCESSING

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-85-105>



### Автоматизированная система для классификации снимков видеопотоков

С. А. Филист<sup>1</sup> ✉, М. В. Шевцов<sup>2</sup>, В. А. Белозеров<sup>3</sup>, Д. С. Кондрашов<sup>1</sup>,  
И. Н. Горбачев<sup>1</sup>, Н. А. Корсунский<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российской Федерации

<sup>2</sup> Академия государственной противопожарной службы МЧС России  
ул. Бориса Галушкина 4, г. Москва 129366, Российской Федерации

<sup>3</sup> Курская областная многопрофильная клиническая больница  
ул. Сумская 45а, г. Курск 305007, Российской Федерации

e-mail: SFilist@gmail.ru

#### Резюме

**Цель исследования** – разработка автоматизированной системы мониторинга пожарной обстановки на основе анализа информации полученных с RGB-камер, установленных на борту дронов, посредством автономных интеллектуальных агентов (АИА) и моделей машинного обучения.

**Методы.** Метод классификации аэроснимков видеоряда при мониторинге пожарной обстановки в автономной территориальной единице предполагает их сегментацию на одинаковые прямоугольные сегменты заданного размера и отнесение их к одному из трех классов: дым, пламя, индифферентный класс. Для классификации сегментов используются «сильные» и «слабые» классификаторы. Для формирования дескрипторов для «слабых» классификаторов использовалось преобразование Уолша-Адамара. Дескрипторы вычисляются для трех «слабых» классификаторов. Сначала вычисляется преобразование Уолша-Адамара для окна всего сегмента, его спектральные коэффициенты используются для первого «слабого» классификатора. Затем вычисляются дескрипторы по двум окнам, размеры которых в два и в четыре раза меньше размеров исходного окна.

**Результаты.** Своевременное обнаружение очага пожара в стадии его развития позволяет снизить как материальные, так и людские потери. Поэтому разработка моделей, методов и алгоритмов управления системой мониторинга пожарной и медико-экологической безопасности, обеспечивающих повышение его эффективности за счет анализа видеоданных с беспилотных летательных аппаратов, является актуальной задачей.

© Филист С. А., Шевцов М. В., Белозеров В. А., Кондрашов Д. С., Горбачев И. Н., Корсунский Н. А., 2021

*Классификатор состоит из трех независимо обучаемых нейронных сетей – «слабых» классификаторов. Для объединения выходов нейронных сетей используется простой блок усреднения по ансамблю. Разработано программное обеспечение для классификации аэроснимков, позволяющее формировать базу данных сегментов классов «дым» и «пламя», определять двумерный спектр Уолша-Адамара сегментов аэроснимков, обучать полно связные нейронные сети и проводить разведочный анализ по исследованию релевантности двумерных спектральных коэффициентов.*

**Вывод.** Экспериментальные исследования по классификации видеоданных, содержащих пламя и дым, показали среднее значение точности обнаружения дыма 86 %, а пламени – 89,5 %. Ошибки второго рода при обнаружении дыма в среднем составили 13 %, а при обнаружении пламени – 4,5%. Для настройки и валидизации классификаторов использовались реальные данные с камер видеонаблюдения на открытых пространствах.

**Ключевые слова:** аэроснимок; пламя; дым; обнаружение пожара; сегментация снимка видеопоследовательности; алгоритм классификации снимка видеопоследовательности.

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

**Для цитирования:** Автоматизированная система для классификации снимков видеопотоков / С. А. Филист, М. В. Шевцов, В. А. Белозеров, Д. С. Кондрашов, И. Н. Горбачев, Н. А. Корсунский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 85–105. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-85-105>

Поступила в редакцию 11.10.2021

Подписана в печать 08.11.2021

Опубликована 20.12.2021

## Automated System For Classifying Images of Video Streams

**Sergey A. Filist<sup>1</sup> ☐, Maxim V. Shevtsov<sup>2</sup>, Vladimir A. Belozerov<sup>3</sup>,  
Dmitry S. Kondrashov<sup>1</sup>, Igor N. Gorbachev<sup>1</sup>, Nikita A. Korsunsky<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

<sup>2</sup> Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia  
4 Boris Galushkin str., Moscow 129366, Russian Federation

<sup>3</sup> Kursk Regional Multidisciplinary Clinical Hospital  
45a Sumskaya str., Kursk 305007, Russian Federation

✉ e-mail: SFilist@gmail.ru

### Abstract

**The purpose of research** is timely detection of a fire center in the stage of its development can reduce both material and human losses. Therefore, the development of models, methods and algorithms for managing the monitoring system of fire and medical and environmental safety, ensuring an increase in its efficiency through the analysis of video data from unmanned aerial vehicles, is an urgent task.

**Methods.** The method of classifying aerial photographs of a video sequence when monitoring a fire situation in an autonomous territorial unit assumes their segmentation into identical rectangular segments of a given size and assigning them to one of three classes: smoke, flame, indifferent class. The “strong” and “weak” classifiers are used to classify the segments. The Walsh-Hadamard transform was used to form descriptors for “weak” classifiers. Descriptors are calculated for three “weak” classifiers. First, the Walsh-Hadamard transform is calculated for the window of the entire segment and its spectral coefficients are used for the first “weak” classifier. Then descriptors are calculated for two windows, the sizes of which are two and four times smaller than the sizes of the original window.

**Results.** Timely detection of a fire in the stage of its development can reduce both material and human losses. Therefore, the development of models, methods and algorithms for managing the fire and medical-environmental safety monitoring system, providing an increase in its efficiency through the analysis of video data from unmanned aerial vehicles, is an urgent task.

The classifier consists of three independently trained neural networks - "weak" classifiers. To combine the outputs of neural networks, a simple ensemble averaging block is used. Software for classifying aerial images has been developed, which makes it possible to form a database of segments of "smoke" and "flame" classes, determine the two-dimensional Walsh-Hadamard spectrum of aerial image segments, train fully connected neural networks and conduct exploratory analysis to study the relevance of two-dimensional spectral coefficients.

**Conclusion.** When conducting experimental studies on video sequences containing flame and smoke, the average value of smoke detection accuracy was 86%, flame - 89.5%. False positives for smoke detection averaged 13% and for flame detection 4.5%. To configure and validate the classifiers, we used real data from CCTV cameras in open spaces.

---

**Keywords:** aerial image; flame; smoke; fire detection; segmentation of a video sequence image; algorithm for classifying a video sequence image.

**Conflict of interest:** The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Philist S. A., Shevtsov M. V., Belozerov V. A., Kondrashov D. S., Gorbachev I. N., Korsunsky N. A. Automated System For Classifying Images of Video Streams. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2021; 11(4): 85–105. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-85-105>

Received 11.10.2021

Accepted 08.11.2021

Published 20.12.2021

\*\*\*

## Введение

Информация о многих физических процессах представляется в виде видеопотоков. Системы безопасности, наблюдения, навигационные, метеорологии и медицинской интроскопии являются областями анализа видеопотока. Одной из важных задач является выделение объекта в видеопотоке. С этой задачей связаны задачи слежения за объектом, сопоставления изображения с базой данных, поиск дубликатов изображений, соединения кадров [1].

Выделение снимков с пожаром из видеоряда с достаточной точностью и оперативностью является трудной задачей. Пожары имеют несколько стадий,

которые влияют на способы определения их дислокации по аэроснимкам. В процессе развития пожара наблюдаются фазы: дым, дым плюс пламя, пламя. Дискриминация сегментов с этими фазами позволяет увеличить достоверность классификации видеоданных [1].

На снимке видеокадра дым и пламя представляют динамическую структуру с пространственными и временными свойствами. Пространственными особенностями дыма и пламени является цвет, прозрачность, турбулентность. Принято, что в качестве дескрипторов для определения координат источника возгорания используется температурная карта, полученная посредством тепловизора или инфракрасной камеры. Однако

на инфракрасных камерах пожарами будут выглядеть места с высокой температурой воздуха, а некоторые участки поверхности будут приняты за источники тепла только из-за особенностей отражения света. К тому же такие камеры существенно дороже. Поэтому при использовании в мониторинге пожарной обстановки дронов, входящих в автоматизированную систему мониторинга пожарной обстановки, на их борту для поиска очага пожара целесообразно устанавливать RGB-камеры, которые используются для съемки всего района, а фотографии затем анализируются посредством автономных интеллектуальных агентов (АИА)<sup>1</sup>, построенных на основе моделей машинного обучения [2; 3; 4; 5].

## Материалы и методы

Для анализа RGB-изображений в настоящее время широко используются сверточные нейронные сети (СНС) различной архитектуры. Однако у них имеются два существенных недостатка, которые препятствуют их использованию в автоматизированной системе оценки пожарной обстановки. Первый недостаток связан с большим потоком видеоданных, поступающих с видеокамер дрона на СНС в процессе мониторинга. Это обстоятельство не позволяет удовлетворить требования по оперативности анализа снимков. Второй недостаток

СНС связан с тем, что СНС классифицирует снимок в целом, тогда как на пульт лице, принимающего решение (ЛПР), необходимо передать координату возгорания, т. е. классификация снимка должна осуществляться сегментарно, что снижает преимущества СНС при решении этой задачи [6].

Поэтому для классификации аэроснимков при мониторинге пожарной обстановки будем использовать полносвязные нейронные сети, а для повышения оперативности классификации снимок предварительно сегментируется на прямоугольные сегменты одинакового размера и для каждого сегмента принимается решение о возможности присутствия в нем дыма или пламени [7; 8; 9; 10].

## Алгоритм классификации снимков видеоряда от беспилотного летательного аппарата

Классификация снимков видеоряда предполагает классификацию всего снимка или его частей (сегментов). При этом предполагается возможность двухэтапной классификации, при которой на первом этапе определяется только наличие интереса к данному снимку или сегменту (класс ROI или класс НЕ ROI), а на втором этапе выносится окончательное решение по вопросу принадлежности снимка или сегмента к конкретному

---

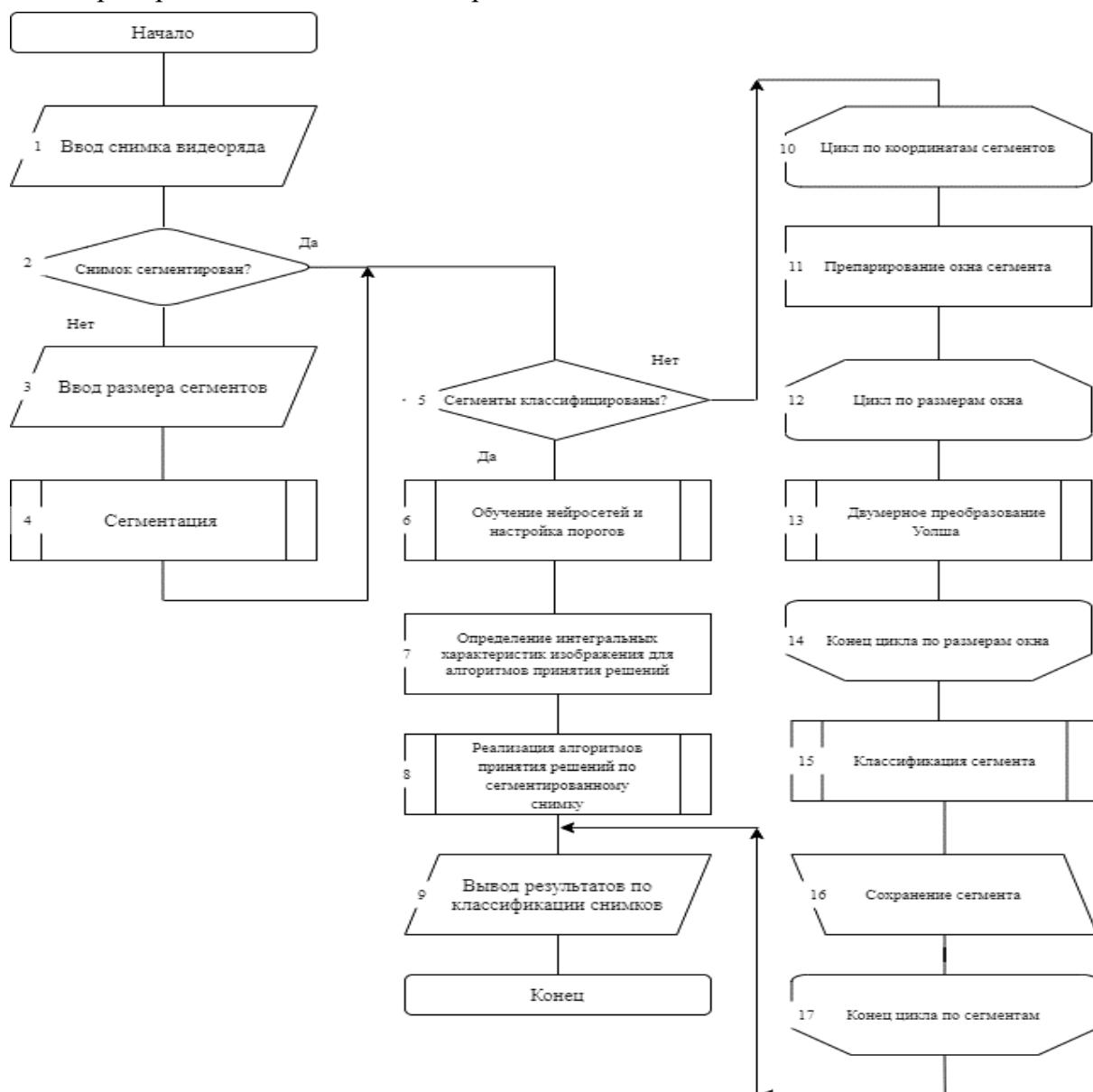
1. Кудрявцев П. С. Методы и алгоритмы дифференциальной диагностики легочных заболеваний на основе анализа спектров

локальных окон рентгенограмм грудной клетки: дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2017. 152 с.

классу. При этом возникают трудности как на первом, так и на втором уровне классификации [4; 10].

Для решения поставленных в работе задач используются методы классификации на основе «сильных» и «слабых» классификаторов [5; 11]. Для формирования дескрипторов для «слабых» классификаторов было предложено использовать преобразование Уолша-Адамара.

На рисунке 1 представлена схема алгоритма, посредством которой реализуется предлагаемый метод классификации аэроснимков. Алгоритм может работать со снимками видеоряда, хранящимися в файлах на диске компьютера или в Интернете, а также поступающими непосредственно с видеокамеры беспилотного летательного аппарата (БПЛА).



**Рис. 1.** Схема алгоритма классификации снимков видеоряда

**Fig. 1.** Scheme of the algorithm for classifying images of a video sequence

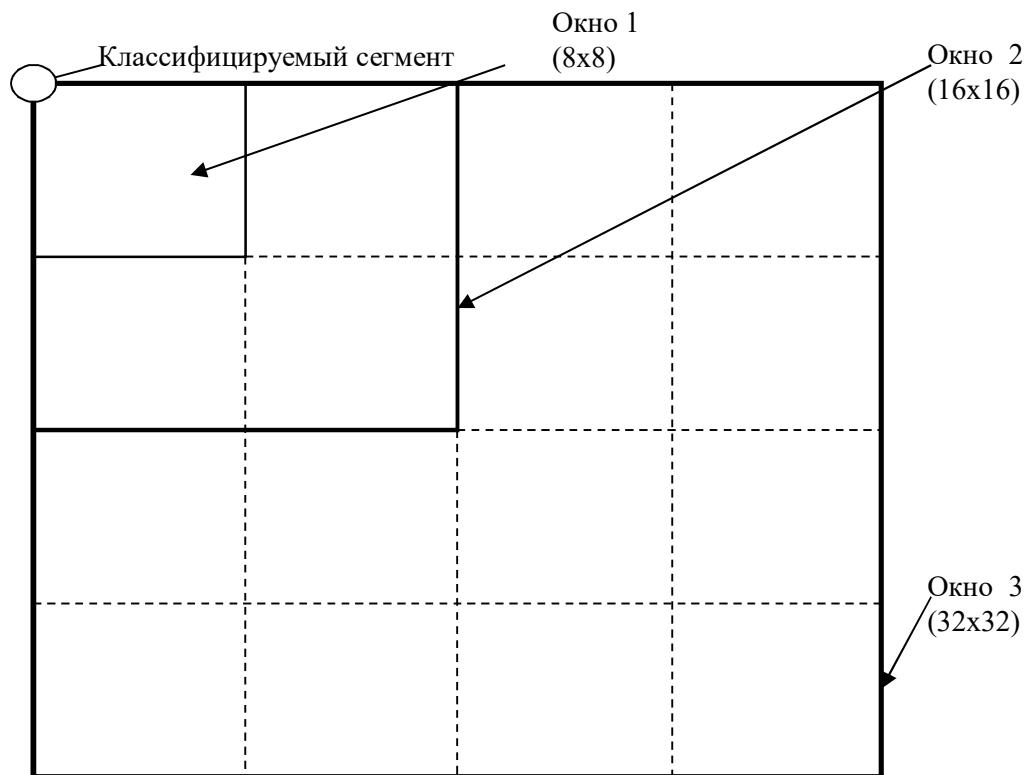
Алгоритм имеет две ветви, организованные посредством блока 5. Первая ветвь работает с уже классифицированными сегментами и осуществляет настройку параметров нейронной сети, которая используется в качестве классификатора сегментов (блоки 6, 7, 8 и 9). Вторая ветвь алгоритма предназначена непосредственно для классификации сегментов (блоки 10...17).

На вход блока 10 поступает изображение, сегментированное на сегменты одинаковых размеров. Сегментация входного изображения на эти сегменты осуществляется в блоках 3 и 4. Размеры сегментов задаются ЛПР в блоке 3. В блоке 10 задается цикл просмотра сегментов изображения. При необходимо-

сти в блоке 11 осуществляется препарирование сегментов изображения. После этого в цикле (блоки 12...14) осуществляется вычисление дескрипторов (преобразование Уолша) для классификатора сегмента.

Дескрипторы вычисляются для трех «слабых» классификаторов [12; 13]. Сначала вычисляется преобразование Уолша – Адамара для всего окна, и его спектральные коэффициенты используются для первого «слабого» классификатора. Затем (в следующем цикле блоков 12...14) вычисляются дескрипторы по окнам, размеры которых в два раза меньше размеров исходного окна, и т. д.

Сущность такой классификации поясняет рисунок 2.



**Рис. 2.** Вложенные спектральные окна для классификации сегмента снимка

**Fig. 2.** Nested spectral windows for image segment classification

Например, если исходное окно сегмента имеет размер 32x32 пикселя, то в следующем цикле дескрипторы вычисляются в четырех окнах размером 16x16 пикселей, а в следующем цикле – в 16 окнах размером 8x8 пикселей. Однако в каждом цикле получаем одинаковое количество дескрипторов, что позволяет построить «слабые» классификаторы с унифицированной структурой.

После классификации сегмента он отправляется в базу данных (блок 16), а результат его классификации выводится на терминальное устройство (блок 9). Координаты сегментов записываются в специальные структуры данных, и также устанавливается флаг-признак классифицированного сегмента.

Перед определением спектров Уолша в окнах сегмента в блоке 13 осуществляется предварительная обработка изображения сегмента (блок 11). Этот блок может быть отключен на глобальном уровне, если «сырые» данные уже подвергались предварительной обработке или в ней нет необходимости. Как показали предварительные исследования, использование блока 11 улучшает качество работы классификатора более чем на 10%.

Если сегмент не был классифицирован, то тогда происходит процесс препарирования окна сегмента (блок 11), или взвешивание исходного изображения в скользящем окне в текущих координатах (цифровая фильтрация скользящим окном [2]). Затем по содержимому окна сегмента осуществляют расчеты дву-

мерного преобразования Уолша – Адамара и другие необходимые расчеты. Так как в сегменте нами определено несколько «слабых» классификаторов, то во внешнем цикле предусмотрен внутренний цикл (блоки 12...14), в котором также могут быть свои внутренние циклы по вычислению двумерной плоскости Уолша – Адамара для каждого типоразмера окна. Для классификации каждого сегмента необходимо определить преобразование Уолша – Адамара в трех типоразмерах окон, образуемых в сегменте согласно схеме (см. рис. 2). Преобразования Уолша – Адамара определяются в теле цикла, организованного блоками 12, 13 и 14. Размеры окон кратны степени числа два для обеспечения работы алгоритма преобразования Уолша. Цикл по размерам окна является внутренним циклом для цикла по координатам сегментов снимка – внешний цикл (блоки 10...17). Классификация осуществляется во внешнем цикле (блок 15).

Внутри цикла по «слабым» классификаторам производится вычисление их дескрипторов, тем самым формируются входные векторы для «слабых» классификаторов. После получения этих векторов информативных признаков они подаются на входы «слабых» классификаторов, выходы которых возвращают числа – коэффициенты уверенности в нулевой гипотезе, которые подаются на вход «сильного» классификатора, на основе работы которого происходит классификация сегмента. Информация о

классификации сохраняется в специальных структурах данных, которые могут быть прочитаны для уточнения классификации. На этом заканчиваются циклы по сегментам снимка и по размерам окна (по «слабым» классификаторам).

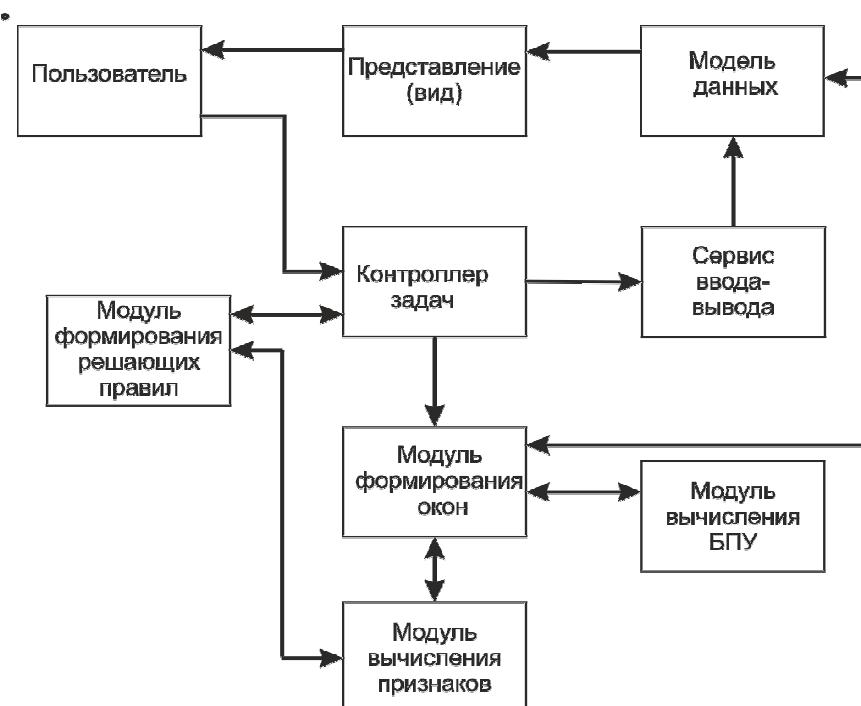
Ветвь алгоритма из блоков 6...9 предназначена для обучения нейронных сетей, выполняющих роль классификаторов на всех иерархических уровнях, на основе подтвержденной и новой информации по классификации сегментов снимков. Также настраиваются пороги классификаторов (подбираются функции активации для нейронных сетей). В завершении работы алгоритма осу-

ществляются вывод и запись результатов классификации сегментов и настроек нейронных сетей.

## Результаты и их обсуждение

### Программно-алгоритмическое обеспечение синтеза «слабых» классификаторов

Для синтеза «слабых» классификаторов по спектральной плоскости было разработано программное обеспечение (ПО). За основу ПО взята структуру ПО, предложенная в [14]. Модульная структура ПО представлена на рисунке 3. ПО написано на языке Python 3.10.0 для Windows 7.



**Рис. 3.** Модульная структура программного обеспечения синтеза «слабых» классификаторов

**Fig. 3.** Modular structure of software for constructing "weak" classifiers

Основой ПО является модуль управления (контроллер задач), который взаимодействует с ЛПР. Для хранения обра-

ботанных данных предусмотрено хранилище данных – «Модель данных». В хранилище данных хранятся исходные и промежуточные изображения, а также

вычисляемые дескрипторы и параметры обученных классификаторов. Исходное изображение загружается с помощью сервиса ввода-вывода, представленного в виде всплывающих и раскрывающихся окон, что обеспечивает ЛПР возможность загружать снимки наиболее популярных форматов (таких, как jpg, png и др.). Сервис ввода-вывода используется также для селекции релевантных спектральных коэффициентов в окнах трех типоразмеров, что позволяет сформировать векторы информативных признаков «слабых» классификаторов значительно меньшей размерности.

Для обучения классификаторов использовалась база данных, содержащая сегменты дискриминируемых классов. Размеры сегментов задавались 32x32 пикселя. Программное обеспечение построено так, что сегменты могут быть любого размера. Однако настройка классификатора требует одинаковых размеров сегментов.

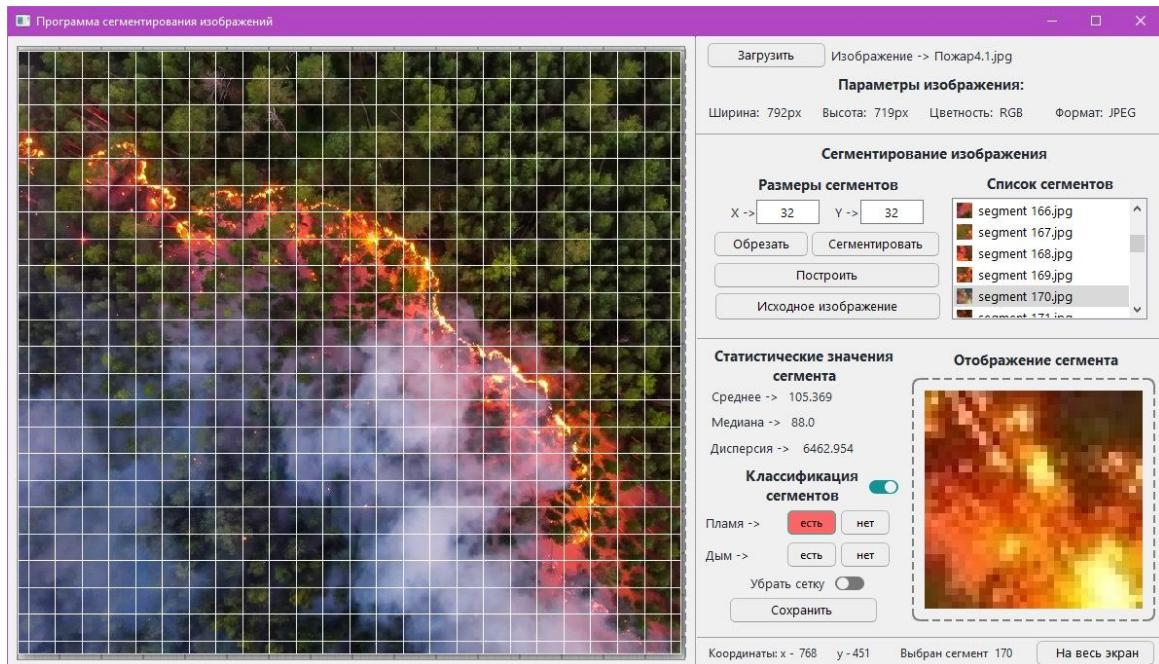
Спектральные коэффициенты Уолша, по которым осуществляется идентификация интересующего нас класса, формируют входные векторы «слабых» классификаторов (дескрипторы). Координаты спектральных коэффициентов, принимающих участие в формировании входного вектора «слабого» классификатора, будем называть локализацией «слабого» классификатора.

На рисунке 4 представлен интерфейс ПО для создания базы данных (БД)

обучающих и контрольных выборок. Исходный снимок разбивается на сегменты квадратной формы с размерами кратными двум. Затем ЛПР устанавливает флагок индикатора класса (на рис. 4 это класс «пламя»), и указателем «мыши» помечает тот сегмент, который относится к данному классу. Помеченные сегменты отправляются в папку БД, в которой хранятся сегменты данного класса.

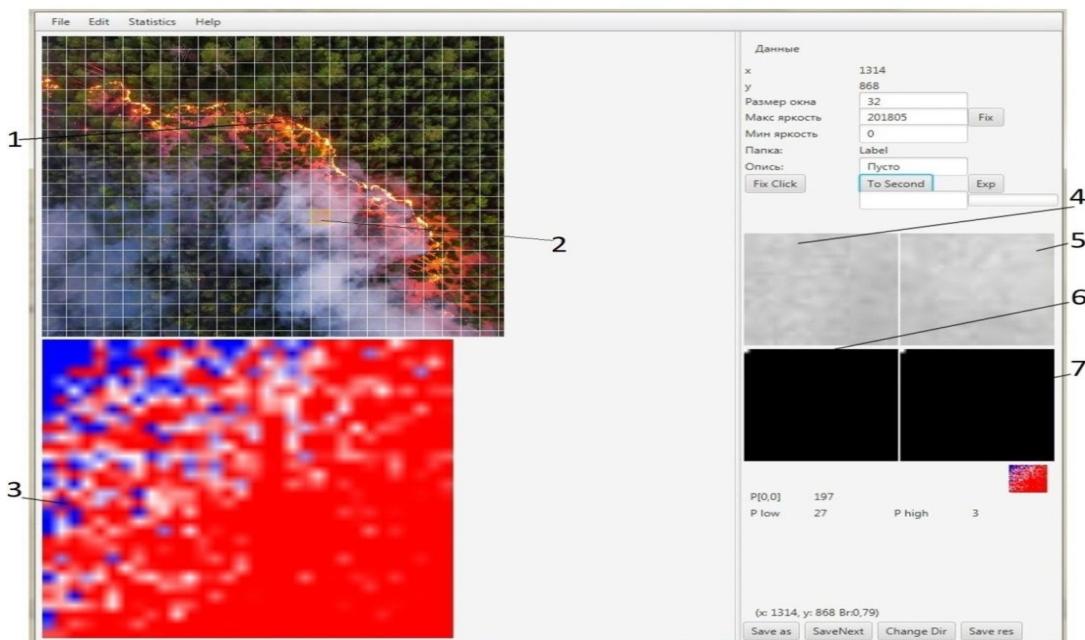
Основные вычислительные процедуры реализованы следующими решающими модулями:

- модуль вычисления преобразования Уолша – Адамара;
- модуль формирования окон внутри сегмента;
- модуль селекции дескрипторов;
- модуль формирования решающих правил (синтеза классификатора). Модуль формирования окон из исходного сегмента выделяет окна с заданными параметрами (размерами, локализацией). Эти окна подаются в модуль вычисления преобразования Уолша – Адамара. По вычисленным двумерным спектрам Уолша осуществляется формирование дескрипторов для обучающих выборок или для классификатора сегмента. Результаты вычисления спектра Уолша-Адамара в окнах сегмента через интерфейс доступны ЛПР. На рисунке 5 представлено интерфейсное окно ПО.



**Рис. 4.** Интерфейс программного обеспечения для создания базы данных обучающих выборок

**Fig. 4.** Software interface for creating a database of training samples



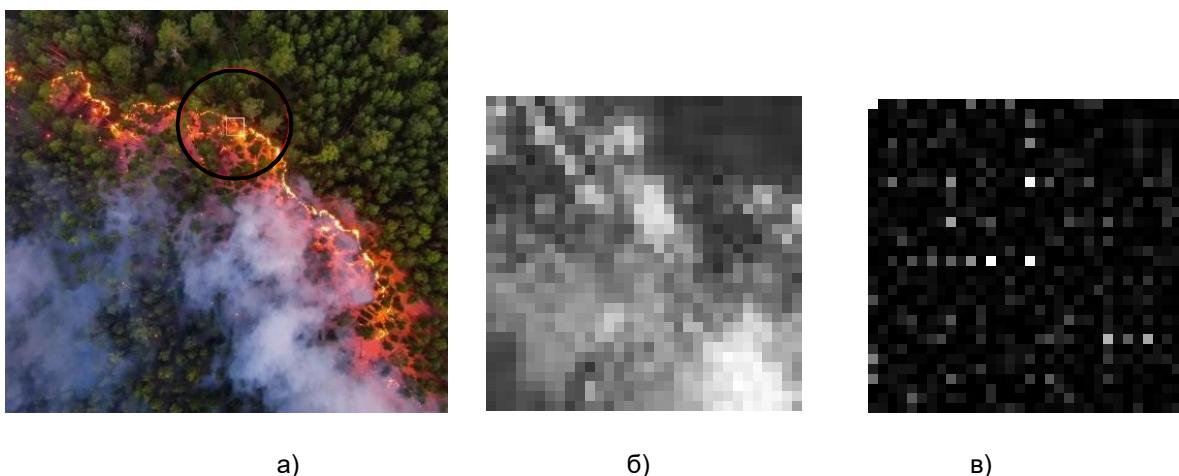
**Рис. 5.** Основные элементы интерфейса: 1 – исходное окно класса 1; 2 – исходное окно класса 2; 3 – разность между спектрами Уолша в окне № 1 и в окне № 2 для поиска информативных спектральных коэффициентов; 4 – окно № 1; 5 – окно № 2; 6 – спектр Уолша окна № 1; 7 – спектр Уолша окна № 2

**Fig. 5.** The main interface elements: 1 – the initial window of class 1; 2 – the initial window of class 2; 3 – the difference between the Walsh spectra in window No. 1 and in window No. 2 for searching for informative spectral coefficients; 4 – window No. 1; 5 – window No. 2; 6 – Walsh spectrum of window No. 1; 7 – Walsh spectrum of window No. 2

В этом интерфейсном окне из исходного снимка вырезаны сегмент № 1 (класс интереса) и сегмент № 2 – индифферентный класс, рассчитаны их двумерные спектры Уолша – Адамара (показаны в окнах 6 и 7, а изображения самих сегментов показаны в окнах 4 и 5). Окно № 2 по размеру совпадает с размерами окна № 1, поэтому мы можем сопоставлять их спектры для оценки распределения энергии по частотам (группа из четырех изображений справа на рис. 5). По найденной разности между спектром в окне № 1 и спектром в окне № 2 (окно 3 на рис. 5) можем осуществить поиск информативных спектральных составляющих для «слабых» классификаторов класса интереса. В результате технология поиска дескрипторов для «слабого» классификатора состоит в анализе спек-

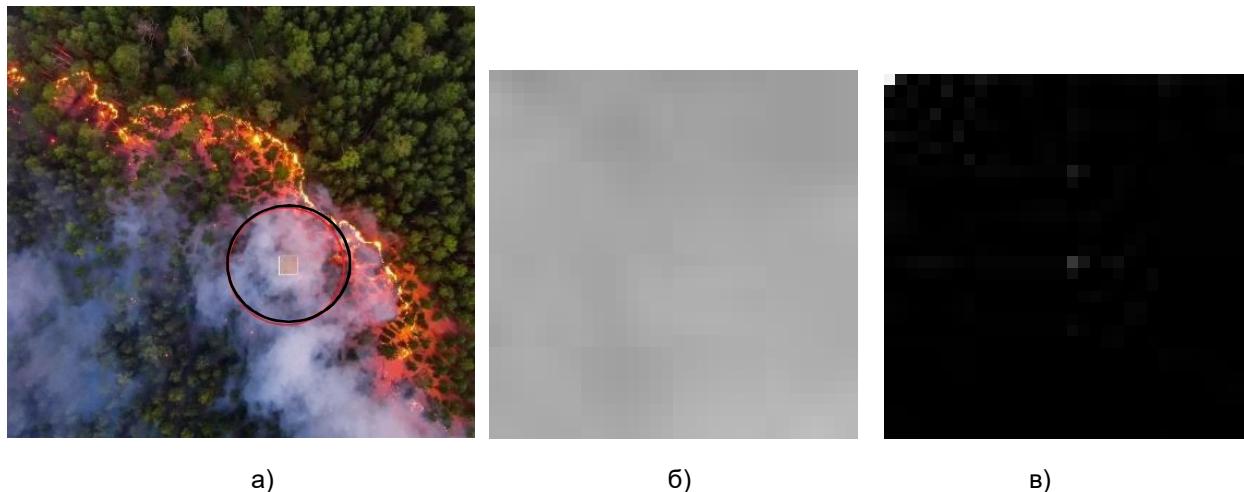
тральных коэффициентов Уолша в окнах, содержащих морфологические компоненты искомого класса и нахождении их отличий от спектральных коэффициентов в окнах, не содержащих таких морфологических компонент. Цель поиска – селектировать только значимые спектральные коэффициенты двумерного спектрального разложения в окне по пороговому и информационному критериям. Например, на рисунке 6 показано окно (б) размером 32x32 пикселя, содержащее сегмент снимка класса «пламя», и соответствующий спектр Уолша – Адамара этого фрагмента представлен на рисунке (в).

На рисунке 7 показано окно сегмента размером 32x32 пикселя (б), содержащее сегмент того же снимка (а) индифферентного класса, которому соответствует спектр Уолша – Адамара (в).



**Рис. 6.** Аэроснимок с сегментом класса «пламя»: а – дислокация сегмента (указана окружностью); б – соответствующее содержимое сегмента класса «пламя»; в – двумерный спектр Уолша этого сегмента

**Fig. 6.** Aerial view of a segment of the class "flame": a – the dislocation of the segment (indicated by a circle); б – the corresponding contents of the segment of the class "flame"; в – the two-dimensional Walsh spectrum of this segment



**Рис. 7.** Аэроснимок с сегментом индефферентного класса: а – дислокация сегмента (указана окружностью); б – соответствующее содержимое сегмента индифферентного класса; в – двумерный спектр Уолша этого сегмента

**Fig. 7.** Aerial view of an indifferent class segment: a – segment dislocation (indicated by circle); б – the corresponding contents of the segment of the indifferent class; в – the two-dimensional Walsh spectrum of this segment

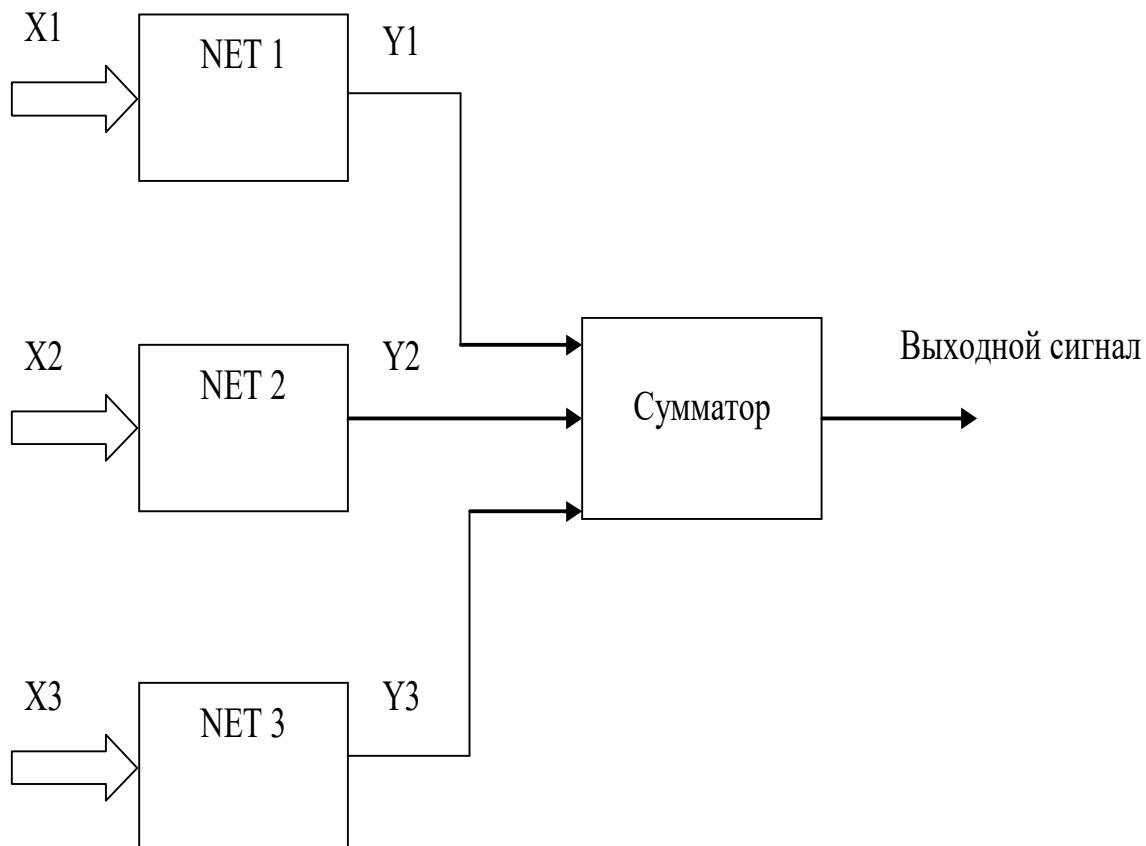
### Модель классификатора и оценка качества классификации морфологических образований на аэроснимках

Основной задачей, поставленной в исследовании, является дискриминация сегментов с морфологическими образованиями «пламя», «дым» и индифферентного класса.

Так как в классифицируемый сегмент вписываются окна трех типоразмеров –  $8 \times 8$ ,  $16 \times 16$ ,  $32 \times 32$  пикселя, в которых вычисляются двумерные спектры Уолша, то имеем три вида обучающих выборок, каждый пример в которых характеризуется векторами одинаковой размерности. Следовательно, для каждой из трех обучающих выборок строим свой классификатор, который принимает независимое решение по отнесению сегмента к определенному классу.

Решение этих трех классификаторов агрегируется также независимым классификатором, построенным на основе технологий обучаемых нейронных сетей или нечеткого логического вывода [5; 7; 11; 14]. Один из примеров структуры такого классификатора представлен на рисунке 8.

Особенностью данной структуры является то, что три автономных агента на нижнем иерархическом уровне используют одни и те же «сырые» данные и формируют на основе их анализа векторы дескрипторов одинаковой размерности: вектор  $X_1$  – это спектральные коэффициенты 16 окон размером  $8 \times 8$ ; вектор  $X_2$  – спектральные коэффициенты четырех окон размером  $16 \times 16$ ; вектор  $X_3$  – спектральные коэффициенты в окне 3 (см. рис. 2) размером  $32 \times 32$  пикселя.



**Рис. 8.** Структурная схема нейросетевого классификатора сегмента

**Fig. 8.** Block diagram of the segment classifier

При формировании векторов  $X_1 \dots X_3$  их компоненты нормируются на среднюю яркость в сегменте снимка, по спектральным коэффициентам которого формируются входные векторы «слабых» классификаторов. Это обусловлено тем, что наибольшая энергия двумерного спектра Уолша соответствует нулевой строке или нулевому столбцу, так как их элементы были получены в результате взвешивания изображения сегмента с нулевой функцией Уолша, которая равна единице. Нулевой

спектральный коэффициент, расположенный в верхнем левом углу спектральной плоскости Уолша, равен средней яркости изображения в окне сегмента.

Для проведения экспериментальных исследований были использованы видеопоследовательности из баз данных Bilkent [15]. Кадры некоторых использованных снимков из видеороликов и их свойства приведены в таблице 1.

Целью экспериментальных исследований был анализ показателей качества

классификации классификаторов снимков с сегментами класса «дым» и «пламя». При этом возгорание считалось обнаруженным, если хотя бы один искомый сегмент класса «дым» или «пламя» найден на аэроснимке. Обучающая выборка видеоизображений (кадров видеопоследовательностей) включает в себя 2000 примеров. Количество сегментов класса «пламя» в обучающей выборке для видеопоследовательностей с пламенем составило 7000, класса «дым» – 5000, индифферентный класс – 6500. Общая продолжительность видеопоследовательностей составила около 20 мин.

Для оценки качества работы предложенного метода использованы показатели: точность – TR (рассчитывается как отношение сегментов, класс которых определен правильно, к общему числу классифицируемых сегментов), чувствительность (показатель ошибок первого рода) – S (отношение правильно классифицированных сегментов заданного класса к общему числу сегментов этого класса в контрольной выборке – характеризует ложно отрицательное срабатывание решающего правила); специфичность (показатель ошибок второго рода) – Sp (отношение правильно классифицированных сегментов индиффе-

рентного класса к общему числу сегментов этого класса в контрольной выборке – характеризует ложноположительное срабатывание решающего правила).

В контрольную выборку видеопоследовательностей входили снимки, на которых присутствовали сегменты различных классов (табл. 1). На некоторых снимках имелся сложный динамический фон, который отражался на классифицируемых сегментах. На некоторых кадрах присутствовали одновременно классы сегментов «пламя» и «дым», например Bilkent\controlled2 кадр 101 и Bilkent\fire1 кадр 439. Если хотя бы один из сегментов снимка был отнесен к классу «пламя», то снимок определялся как снимок с пламенем.

В таблице 2 приведены результаты экспериментальных исследований показателей качества классификации двух альтернативного классификатора, настроенного на дискриминацию класса «пламя» и индифферентного класса.

В таблице 3 приведены результаты экспериментальных исследований показателей качества классификации при обнаружении дыма в сегментах аэроснимков. Как и при обнаружении пламени, сегменты снимков видеоряда разделены на две группы: сегменты, содержащие дым, и без него (индифферентный класс).

**Таблица 1.** Примеры тестовых снимков из базы данных Bilkent**Table 1.** Examples of test snapshots from the Bilkent database

Описание тестовой видеопоследовательности	Образец кадра	Описание тестовой видеопоследовательности	Образец кадра
Bilkent\controlled1 кадр 203 Разрешение, пиксели: 320x240 Количество кадров: 260 Объекты на видео: пламя		Dyntex\649h920 кадр 261 Разрешение, пиксели: 320x240 Количество кадров: 707 Видео без дыма и пламени	
Bilkent\controlled2 кадр 101 Разрешение, пиксели: 320x240 Количество кадров: 246 Объекты на видео: пламя, дым		Dyntex\ForestFire1 кадр 105 Разрешение, пиксели: 320x240 Количество кадров: 218 Объекты на видео: пламя, дым	
Bilkent\controlled3 кадр 85 Разрешение, пиксели: 320x240 Количество кадров: 208 Объекты на видео: пламя		Dyntex\бамми00 кадр 108 Разрешение, пиксели: 320x240 Количество кадров: 664 Объекты на видео: пламя	
Bilkent\fire1 кадр 439 Разрешение, пиксели: 320x240 Количество кадров: 708 Объекты на видео: пламя, дым		Dyntex\55fc410 кадр 108 Разрешение, пиксели: 320x240 Количество кадров: 250 Объекты на видео: дым	
Bilkent\forest1 кадр 129 Разрешение, пиксели: 320x240 Количество кадров: 200 Объекты на видео: пламя, дым		Bilkent\Smoke_Manavgat_Raw кадр 2941 Разрешение, пиксели: 320x240 Количество кадров: 6046 Объекты на видео: дым	
Dyntex\647b610, кадр 98 Разрешение, пиксели: 320x240 Количество кадров: 250 Видео без дыма и пламени		Bilkent\sorgun1 кадр 509 Разрешение, пиксели: 320x240 Количество кадров: 609 Объекты на видео: дым	

**Таблица 2.** Показатели эффективности метода для класса «пламя»**Table 2.** Indicators of the effectiveness of the method for the "flame" class

Класс	S, %	Sp, %	TR, %	Кол-во сегментов
Пламя	89,5	95,5	89,5	280
Индифферентный	95	90		320

**Таблица 3.** Показатели эффективности метода для класса «дым»**Table 3.** Indicators of the effectiveness of the method for the class "smoke"

Класс	S, %	Sp, %	TR, %	Кол-во сегментов
Дым	86	87	86,2	300
Индифферентный	85	86		320

Критерием достоверности классификации считали *результат исследования аэроснимка*, выполненный двумя ЛПР.

## Выводы

Итак:

1. Разработан метод классификации морфологических образований на аэроснимках, полученных при мониторинге АТЕ посредством БПЛА. Метод основан на определении дескрипторов выделенных прямоугольных сегментов заданных размеров посредством определения спектров Уолша – Адамара в трех типоразмерах окон, сформированных в этом сегменте. Метод позволяет настраивать (обучать) классификаторы на обнаружение заданных классов морфологических образований на снимках видеоданных, полученных с видеокамер БПЛА.

2. Выбраны критерии качества классификации морфологических образований на аэроснимках видеоряда. На основе выбранных критериев качества сегментации проведена апробация классификаторов по дискриминации сегментов класса «пламя» и класса «дым» и сегментов индифферентного класса.

3. Экспериментальные исследования по классификации снимком из видеоряда классификаторами, построенными на основе предлагаемого метода, показали среднее значение ошибок первого рода при обнаружении дыма в сегменте аэроснимка 14 %, а пламени – 10,5 %. Ошибки второго рода при обнаружении дыма в среднем составили 13 %, а при обнаружении пламени – 4,5%. Таким образом, предложенный метод классификации сегментов снимков видеоряда показал высокое качество классификации при дискриминации сегментов классов «пламя» и «дым».

### Список литературы

1. Anna V. Pyataeva and Oleg E. Bandeev. Video Based Flame and Smoke Detection // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2019. Vol. 12(5). P. 542-554.
2. Томакова Р. А., Емельянов С. Г., Филист С. А. Интеллектуальные технологии сегментации и классификации биомедицинских изображений: монография / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2012. 222 с.
3. Автоматические классификаторы сложно структурируемых изображений на основе мультиметодных технологий многокритериального выбора / М. В. Дюдин, И. В. Зуев, С. М. Чудинов [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Системы и средства отображения информации и управления спецтехникой (СОИУ). 2015. Вып. 1. С. 130–141.
4. Автоматизированная система для классификации заболеваний молочной железы по рентгеновским маммографическим снимкам / А. Р. Дабагов, И. А. Малютина, Д. С. Кондрашов [и др.] // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2019. № 4 (48). С. 10-24.
5. Филист С. А., Шаталова О. В., Ефремов М. А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений // Нейрокомпьютеры. Разработка, применение. 2014. № 6. С. 35–39.
6. An Automated System for Classification of Radiographs of the Breast / A. R. Dabagov, V. A. Gorbunov, S. A. Filist, I. A. Malyutina, D. S. Kondrashov // Biomedical Engineering. 2020. Vol. 53, no. 6. P. 425-428. <https://doi.org/10.1007%2Fs10527-020-09957-7>.
7. Метод классификации сложноструктурных изображений на основе самоорганизующихся нейросетевых структур / О. В. Шаталова, А. А. Кузьмин, К. Д. А. Кассим [и др.] // Радиопромышленность. 2016. № 4. С. 57-65.
8. Hybrid Intelligent Models for Chest X-Ray Image Segmentation / S. A. Filist, R. A. Tomakova, S. V. Degtyarev, A. F. Rybochkin // Biomedical Engineering. 2018. Vol. 51, no. 5. P. 358-363. <https://doi.org/article/10.1007/s10527-018-9748-5>.
9. Многослойные морфологические операторы для сегментации сложноструктурных изображений / А. Р. Дабагов, И. А. Малютина, Д. С. Кондрашов [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика, медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 3. С. 44-63.
10. Метод каскадной сегментации рентгенограмм молочной железы / С. А. Филист, А. Р. Дабагов, Р. А. Томакова, И. А. Малютина, Д. С. Кондрашов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 1 (30). С. 49-61.

11. Малютина И. А., Кузьмин А. А., Шаталова О. В. Методы и алгоритмы анализа рентгенограмм грудной клетки, использующие локальные окна в задачах обнаружения патологий // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2017. № 3(39). С. 131-138.
12. Моделирование морфологических образований на рентгенограммах грудной клетки в интеллектуальных диагностических системах медицинского назначения / П. С. Кудрявцев, А. А. Кузьмин, Д. Ю. Савинов, С. А. Филист, О. В. Шаталова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2017. № 3 (39). С. 109-120.
13. Формирование признакового пространства для задач классификации сложно-структуримых изображений на основе спектральных окон и нейросетевых структур / К. Д. А. Кассим, А. А. Кузьмин, О. В. Шаталова [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 4(67). С. 56-68.
14. Томакова Р. А., Филист С. А., Дурakov И. В. Программное обеспечение автоматической классификации рентгенограмм грудной клетки на основе гибридных классификаторов // Экология человека. 2018. № 6. С. 59-64.
15. Bilkent database // Bilkent SPG. URL: <http://signal.ee.bilkent.edu.tr/VisiFire/Demo/FireClips/> (дата обращения: 10.09.2021).

### References

1. Anna V. Pyataeva and Oleg E. Bandeev. Video Based Flame and Smoke Detection. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 2019, vol. 12(5), pp. 542-554.
2. Tomakova R. A., Emelyanov S. G., Philist S. A. Intellektual'nye tekhnologii segmentatsii i klassifikatsii biomeditsinskikh izobrazhenii [Intelligent technologies for segmentation and classification of biomedical images]. Kursk, Southwest State University Publ., 2012. 222 p.
3. Dyudin M. V., Zuev I. V. Chudinov S. M., eds. Avtomatizirovannaya sistema dlya klassifikatsii zbolevanii molochnoi zhe-lezy po rentgenovskim mammograficheskim snimкам [Automatic classifiers of complexly structured images based on multi-method technologies of multicriteria choice]. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Sistemy i sredstva otobrazheniya informatsii i upravleniya spetsial'nyimi ustroystvami (SOIU)* = Problems of Radio Electronics. Series: Systems and Means of Information Display and Control of Special Equipment (SOIU), 2015, is. 1, pp. 130–141.
4. Dabagov A. R., Malyutina I. A., Kondrashov D. S., eds. Gibridnaya neironnaya set' s makrosloyami dlya meditsinskikh prilozhenii [Automated system for the classification of breast diseases by x-ray mammographic images]. *Neirokomp'yutery. Razrabotka, primenenie = Caspian Journal: Management and High Technologies*, 2019, no. 4 (48), pp. 10-24.

5. Philist S. A., Shatalova O. V., Efremov M. A. Gibridnaya neironnaya set' s makrosloyami dlya meditsinskikh prilozhenii [Hybrid neural network with macro layers for medical applications]. *Neirokomp'yutery. Razrabotka, primenenie = Neurocomputers. Development, Application*, 2014, no. 6, pp. 35–39.
6. Dabagov A. R., Gorbunov V. A., Filist S. A., Malyutina I. A., Kondrashov D. S. An Automated System for Classification of Radiographs of the Breast. *Biomedical Engineering*, 2020, vol. 53, no. 6, pp. 425-428. <https://doi.org/10.1007%2Fs10527-020-09957-7>
7. Shatalova O. V., Kuzmin A. A., Kasim K. D. A., eds. Metod klassifikatsii slozhnostrukturiruemkh izobrazhenii na osnove samoorganizuyushchikhsya neirosetevykh struktur [Method of classification of complex structured images based on self-organizing neural network structures]. *Radiopromyshlennost' = Radio Industry*, 2016, no. 4, pp. 57-65.
8. Filist S. A., Tomakova R. A., Degtyarev S. V., Rybochkin A. F. Hybrid Intelligent Models for Chest X-Ray Image Segmentation. *Biomedical Engineering*, 2018, vol. 51, no. 5, pp. 358-363. <https://doi.org/article/10.1007/s10527-018-9748-5>
9. Dabagov A. R., Malyutina I. A., Kondrashov D. S., eds. Mnogosloinye morfologicheskie operatory dlya segmentatsii slozhnostruk-turiruemkh rastrovykh polutonovykh izobrazhenii [Multilayer morphological operators for segmentation of complex structured raster half-tone images]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoе priborostroenie = Proceedings of the Southwestern State University. Series: Management, Computer Engineering, Computer Science. Medical Instrumentation*, 2019, vol. 9, no. 3, pp. 44-63.
10. Filist S. A., Dabagov A. R., Tomakova R. A., Malyutina I. A., Kondrashov D. S. Metod kaskadnoi segmentatsii rentgenogramm molochnoi zhelez [Method of cascade segmentation of breast radiographs]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoе priborostroenie = Proceedings of the Southwestern State University. Series: Management, Computer Engineering, Computer Science. Medical Instrumentation*, 2019, vol. 9, no. 1 (30), pp. 49-61.
11. Malyutina I. A., Kuzmin A. A., Shatalova O. V. Metody i algoritmy analiza rentgenogramm grudnoi kletki, ispol'zuyushchie lokal'nye okna v zadachakh obnaruzheniya patologii [Methods and algorithms for analyzing chest radiographs using local windows in pathology detection tasks]. *Prikaspiiskii zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii = Caspian Journal: Management and High Technologies*, 2017, no. 3(39), pp. 131-138.
12. Kudryavtsev P. S., Kuzmin A. A., Savinov D. Yu., Filist S. A., Shatalova O. V. Modelirovanie morfologicheskikh obrazovanii na rentgenogrammakh grud-noi kletki v intellektual'nykh diagnosticheskikh sistemakh meditsinskogo naznacheniya [Modeling of morpho-

logical formations on chest radiographs in intelligent diagnostic medical systems]. *Pri-kaspiiskii zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii = Caspian Journal: Management and High Technologies*, 2017, no. 3 (39), pp. 109-120.

13. Kassim K. D. A., Kuzmin A. A., Shatalova O. V., eds. Formirovaniye priznakovogo prostranstva dlya zadach klassifikatsii slozhnostrukturnykh izobrazhenii na osnove spektral'nykh okon i neirosetevykh struktur [Formation of a feature space for classification problems of complex structured images based on spectral windows and neural network structures]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2016, no. 4(67), pp. 56-68.

14. Tomakova R. A., Filist S. A., Durakov I. V. Programmnoe obespechenie avtomaticheskoi klassifikatsii rentgenogramm grudnoi kletki na osnove gibridnykh klassifikatorov [Software for automatic classification of chest radiographs based on hybrid classifiers]. *Ekologiya cheloveka = Human Ecology*, 2018, no. 6, pp. 59-64.

15. Bilkent database. Available at: <http://signal.ee.bilkent.edu.tr/VisiFire/Demo/Fire-Clips/>. (accessed 10.09.2021)

## Информация об авторах / Information about the Authors

**Филист Сергей Алексеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: sfilist@gmail.com

**Sergey A. Filist**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: sfilist@gmail.com

**Шевцов Максим Викторович**, аспирант, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: shevtsov@yandex.ru

**Maxim V. Shevtsov**, Post-Graduate Student, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russian Federation, e-mail: shevtsov@yandex.ru

**Белозеров Владимир Анатольевич**, кандидат медицинских наук, ведущий специалист, Курская областная многопрофильная клиническая больница, г. Курск, Российская Федерация e-mail: b9102107495@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-2028-746X

**Vladimir A. Belozerov**, Cand. of Sci. (Medical), Leading Specialist, Kursk Regional Multidisciplinary Clinical Hospital, Kursk, Russian Federation, e-mail: b9102107495@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-2028-746X

**Кондрашов Дмитрий Сергеевич**, аспирант,  
Юго-Западный государственный университет,  
г. Курск, Российская Федерация,  
e-mail: kondrashov012@mail.ru

**Dmitry S. Kondrashov**, Post-Graduate Student,  
Southwest State University, Kursk, Russian  
Federation,  
e-mail: kondrashov012@mail.ru

**Горбачев Игорь Николаевич**, аспирант,  
Юго-Западный государственный университет,  
г. Курск, Российская Федерация,  
e-mail: Gorbachev.agps@yandex.ru

**Igor N. Gorbachev**, Post-Graduate Student,  
Southwest State University, Kursk,  
Russian Federation,  
e-mail: Gorbachev.agps@yandex.ru

**Корсунский Никита Александрович**, аспирант,  
Юго-Западный государственный университет,  
г. Курск, Российская Федерация,  
e-mail: cor.nick2013@yandex.ru

**Nikita A. Korsunsky**, Post-Graduate Student,  
Southwest State University, Kursk, Russian  
Federation,  
e-mail: cor.nick2013@yandex.ru

## Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-106-119>

## Методы улучшения выделенной области изображения при быстродействующей обработке символьной информации

**А. Ю. Конаныхин<sup>1</sup>✉, Т. Н. Конаныхина<sup>1</sup>, В. С. Панищев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: alexanderkonan@yandex.ru

### Резюме

**Целью исследования** является нахождение оптимальных методов подготовки изображения для более стабильного выполнения алгоритма обнаружения символьной информации. Для повышения скорости работы и улучшения алгоритмов обнаружения и распознавания символов необходимо подобрать оптимальные методы обработки изображения, поскольку в настоящий момент это является актуальной и часто встречающейся задачей. Задачи распознавания образов, в частности распознавание текстовой информации, возникают в повседневной жизни, на производстве, транспортной логистике и т. д.

**Методы.** В работе применены методы повышения качества изображений за счет увеличения малых параметров интенсивности, оцифровки и коррекции цифрового изображения, удаления шумовых пикселов, методы восстановления изображения, методы снижения хроматических aberrаций.

**Результаты:** проведен анализ методов повышения качества и восстановления изображений; найдены параметры веса с применением фильтра Гаусса; приведен метод коррекции угла наклона исходного изображения с использованием встроенной функции cvWarpAffine() библиотеки OpenCV, которая позволяет использовать аффинные преобразования для поворота изображения или части исследуемого изображения; приведена таблица вероятности обнаружения и распознавания символьной информации после применения методов улучшения выделенной области изображения для быстродействующей обработки символьной информации.

**Заключение.** В ходе работы было выявлено, что при достаточном разрешении изображения использование методов улучшения выделенной области позволяет с вероятностью до 95% обнаружить и распознать символьную информацию со скоростью приемлемой для быстродействующего устройства (до 280 мс) в зависимости от качества исходного изображения и количества обнаруженных участков, содержащих символьную информацию.

**Ключевые слова:** распознавание символьной информации; фильтр Гаусса; предобработка изображений; повышение качества изображений; медианный фильтр.

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

**Для цитирования:** Конаныхин А. Ю., Конаныхина Т. Н., Панищев В. С. Методы улучшения выделенной области изображения при быстродействующей обработке символьной информации // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 106–119. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-106-119>

Поступила в редакцию 15.10.2021

Подписана в печать 11.11.2021

Опубликована 20.12.2021

## A Method for Improving the Selected Area of the Image with High-Speed Processing of Symbolic Information

Alexander Yu. Konanykhin<sup>1</sup> , Tatyana N. Konanykhina<sup>1</sup>, Vladimir S. Panishchev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Southwest State University  
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

 e-mail: alexanderkonan@yandex.ru

### Abstract

**The purpose of research** is to find optimal methods for preparing an image with the aim of a more stable course of execution of the algorithm for detecting symbolic information.

**Methods.** The paper uses methods to improve the quality of images by increasing low intensity parameters, digitizing and correcting a digital image, removing noise pixels, methods of image restoration, methods of reducing chromatic aberrations.

**Results.** The analysis of methods for improving the quality and restoration of images is carried out; the weight parameters are found using the Gaussian filter. A method for correcting the angle of inclination of the original image is presented; a table of the probability of detecting and recognizing symbolic information after applying the methods of improving the selected area of the image for high-speed processing of symbolic information is presented.

**Conclusion.** In the course of the work, it was revealed that with a sufficient image resolution, the use of methods for improving the selected area allows with a probability of up to 95% to detect and recognize symbolic information at a speed acceptable for a high-speed device (up to 280 ms), depending on the quality of the original image and the number of detected areas containing symbolic information.

**Keywords:** character information recognition; Gaussian filter; image preprocessing; image quality improvement; median filter.

**Conflict of interest:** The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Konanykhin A. Yu., Konanykhina T. N., Panishchev V. S. A Method for Improving the Selected Area of the Image with High-Speed Processing of Symbolic Information. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2021; 11(4): 106–119. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-106-119>

Received 15.10.2021

Accepted 11.11.2021

Published 20.12.2021

\*\*\*

### Введение

На данный момент одной из наиболее актуальных и часто встречающихся задач распознавания образов является задача распознавания символьной информации (текста печатного или рукописного). Проблема обнаружения и распознавания символьной информации

возникает во многих областях применения и не имеет оптимального решения в связи с постоянным изменением задач и ростом объемов вычислений. В некоторых отраслях (таких, как транспортная логистика, аутентификация, военная промышленность и т. д.) необходимыми и наиболее значимыми критериями рас-

познавания являются актуальность информации и режим работы в реальном времени [1; 2; 3; 4].

Распознавание символьной информации необходимо как в целях повседневной жизни (распознавание штрих-кодов; распознавание рукописного текста в документах и их электронный оборот), так и в целях обеспечения безопасности и иных, более узких сферах применения (регистрирование автомобильного трафика; верификация и анализ поверхности детали с целью обнаружения брака и т. д.) [1; 3; 5].

Таким образом, в связи с вышеизложенным необходимо осуществить поиск с обнаружением и распознаванием символьной информации так, чтобы погрешность, возникающая вследствие ограниченной точности измерительных приборов или низкого качества изображения, стремилась к нулю. Необходимо также увеличить производительность алгоритма обработки символьной информации в условиях малого размера символов, так как всем алгоритмам представления объектов присуща исключительная ресурсоемкость, порождаемая задачей обработки большого набора данных.

При разработке метода, алгоритмов и быстродействующего устройства распознавания символьной информации как нельзя актуально стоит задача фильтрации и улучшения изображений, поскольку именно она применима каждый раз при обработке снимков. Все приведенные задачи можно условно разделить

на два класса – задачи повышения качества изображений и обнаружения низкочувственных признаков изображения [4; 6; 7; 8].

### **Материалы и методы**

Анализ работ и непосредственное выполнение задачи распознавания подразумевает собой использование целого множества основополагающих методов детектирования и обработки находящейся на снимках информации.

На первом этапе предлагается улучшение снимка путем коррекции значений интенсивности так называемых полутоновых уровней, пикселов. В большинстве своем программные пакеты обработки изображений предусматривают некое количество команд (чаще – несколько) для вариации вида снимка за счет трансформации значения пикселов, используя функции, которые задают способ подмены входных значений интенсивности на новые выходные данные. Указанный метод нетрудно модернизировать так, чтобы оператор имел возможность указать  $N$  областей изображения, к каждой из которых требуется применить необходимые функции преобразования – функции тонового распределения [2; 3; 4; 9; 10; 11; 12].

На следующем этапе хорошо показывает себя метод растяжения, заключающийся в преобразовании показателей интенсивности. Данная процедура часто используется для расширения динамического диапазона значений интенсивности слишком темных изображений на

весь доступный диапазон уровней интенсивности [2; 3; 5; 13; 14].

В дальнейшем необходимо выполнить оператор увеличения контраста – точечный оператор, в котором кусочно-гладкая функция применяется к входным значениям интенсивности для усиления важных деталей изображения [2; 3; 10; 15; 16; 17].

В связи с тем, что точечные операторы обрабатывают один входной пикセル в один выходной, возможно, что их применение к массиву пикселов равно как в произвольном порядке, так и параллельном.

Также стоит принимать во внимание факт, что специфические функции тоно-вого распределения, включая немонотонные, могут принести хорошие результаты по обработке не во всех областях. Например, в рентгенологии данное преобразование может изменить значимую шкалу параметров интенсивности, что приведет к потере работоспособности датчиков и ухудшению восприятия человеком полученного изображения.

Неотъемлемыми требованиями к обработке изображений являются сглаживание и фильтрация. Эти требования предъявляются к изображениям, на которых присутствует некая идеальная структура, обработав которую необходимо получить или описать параметры. Одним из примеров сглаживания является применение усредняющего фильтра. Суть заключается в применении прямоугольной окрестности пикселов с

равно взвешенными значениями [17; 18; 19].

На следующем этапе улучшения изображения предлагается произвести процесс фильтрации и улучшения изображения, что требует включения в работу хотя бы одного из фильтров обработки исходного снимка. Сглаживающий фильтр в своей работе использует следующую формулу:

$$Out[r, c] = \left( \sum_{i=-2}^{+2} \sum_{j=-2}^{+2} \frac{\ln[r+i, i+j]}{Avr} \right),$$

где  $Avr$  – это приведенное значение, найденное для среднего по окрестности пикселов.

Данный фильтр является широко применимым. В ходе проведенных исследований было показано, что для значения среднего оптимально значение  $Avr = 7$  как наиболее оптимальное при фильтрации в ходе решения поставленной задачи распознавания.

Другим наиболее широко используемым фильтром является медианный фильтр, заменяющий значение каждого пикселя на медиану значений окрестности обрабатываемого пикселя.

Медиана множества чисел, хранящихся в массиве  $A$ , равна  $A[(n-1)/2]$ , где  $A[i]_{i=0\dots(n-1)}$  – это отсортированный массив  $n$  действительных чисел [20].

С целью нахождения более точных результатов было предложено использовать медианный фильтр, который представляет собой некий массив отсортиро-

ванных  $n$  действительных чисел, для которого медианное значение вычисляется согласно формуле

$$g(x, y) = \sum_{i=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{j=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} H(i, j) f(x+i, y+j).$$

В ряде других задач предпочтительнее выбрать параметр веса таким образом, чтобы он становился меньше с увеличением расстояния входных пикселов от так называемого пикселя центра  $I[x_c, y_c]$ . В таком случае весовые коэффициенты необходимо обработать фильтром Гаусса. Следовательно, при использовании фильтра Гаусса параметр пикселя  $[x, y]$  будет взвешен с применением весовой функции [21]:

$$g(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}},$$

где  $d = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}$  есть ни что иное, как расстояние пикселя  $[x, y]$  от центрального пикселя окрестности  $[x_c, y_c]$ .

Для предоставленных фильтров было выявлено, что наилучшие результаты для поставленной задачи распознавания демонстрирует результат работы фильтра Гаусса, который в процессе работы позволяет сохранить наиболее четкие контуры исследуемого изображения вкупе с устранением излишних шумов и оптимизацией изображения к дальнейшей обработке и процессам распознавания символов.

Далее было предложено поставить условия улучшения исходного снимка путем использования операторов:

- увеличения контраста;
- точечного оператора.

Также возможно использование субалгоритма выравнивания гистограммы, что демонстрирует хорошие результаты для неконтрастных снимков.

Поставленная задача улучшения выделенной области изображения требует изменения уровня фильтрации и улучшения, а также возможного повторения процедуры после первой обработки заданное или требуемое количество раз.

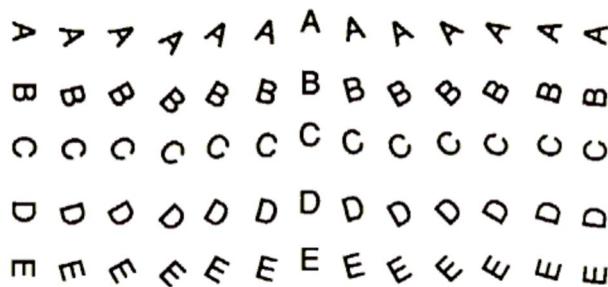
Следующим необходимым методом подготовки изображения является нормализации угла поворота (наклона) изображения. При решении данной задачи предлагается использовать встроенную функцию cvWarpAffine() библиотеки OpenCV, которая позволяет использовать аффинные преобразования для поворота изображения или части изображения.

Аффинные преобразования для вида  $f: R^n \rightarrow R^n$  – это есть преобразования вида  $f(x) = M \cdot x + v$ ,  $v \in R^n$  [20].

Далее необходимо произвести процесс коррекции угла наклона исходного изображения. Для инвариантного набора  $\{I_f(p, q)\}$ , который необходим для даль-

нейшего использования в процессе классификации. Для примера и простоты восприятия было взято лишь 5 символов (рис. 1). Данные образы были использо-

ваны для анализа фильтрующего массива  $\{h_{p,q}(\cdot, \cdot)\}$ , в котором значения  $p$  были взяты в пределах [-2,2] и  $q=[0,3]$ .

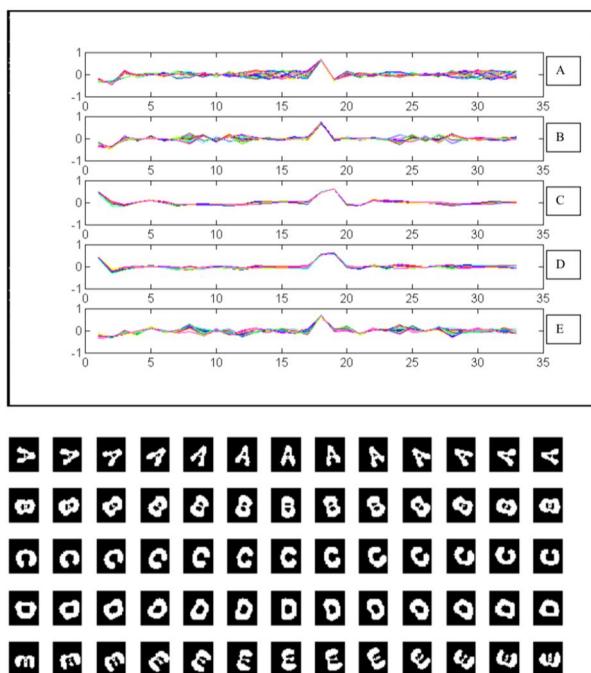


**Рис. 1.** Многовариантное множество символов (A-E)

**Fig. 1.** Multiple character set

Такие значения диапазона для  $p$  и  $q$  приводят к 33 неизбыточным инвариантным признакам, полученным с использованием 18 фильтров. Те же шаблоны были также проанализированы с масштабным коэффициентом 0,5.

Результаты анализа представлены на графике (рис. 2) путем наложения 33 инвариантов для каждой из 26 мультиориентированных и многомасштабных «0» форм.



**Рис. 2.** Восстановленные образы для мультиориентированных и многомасштабных форм

**Fig. 2.** Recovered images for multi-oriented AFTM

Затем происходит построение диаграммы встроенными средствами библиотеке OpenCV с последующим уточнением нахождения границы. В случае отсутствия границы алгоритм прекращает свою работу, поскольку именно остановка алгоритма позволяет сэкономить время и вычислительную мощность. Продолжение алгоритма при отсутствии границы объекта не имеет смысла, поскольку при отсутствии рамки вероятность отсутствия объекта исследования приблизительно равно 97,88%.

### Результаты и их обсуждение

Работа проводилась для изображения, представленного на рисунке 3. На фотографии видно наличие шумов, тени, градиент света и другие усложняющие работу факторы.



Рис. 3. Исходное изображение

Fig. 3. Original image

Производим фильтрацию изображения с использованием фильтра Гаусса, а также переводим изображение в градации серого (черно-белый формат цвета) и произведем повышение контраста (рис. 4).



Рис. 4. Результат работы фильтра Гаусса, оператора градаций серого и повышения контраста

Fig. 4. The result of the Gaussian filter, grayscale operator, and contrast enhancement

Выполняем алгоритм поиска угла наклона изображения и осуществляем его нормализацию – приведение изображения к нулевому углу наклона символов (рис. 5).



Рис. 5. Результат работы метода нормализации угла изображения

Fig. 5. The result of the image angle normalization method

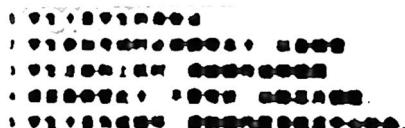
Данная процедура позволяет существенно снизить временные затраты на выполнение дальнейших вычислений задачи распознавания.

Поиск нижней, верхней и боковых рамок представляет собой часть найден-

ного изображения, построенного на основе перепада яркости между соседними пикселями.

Полученное изображение представлено ниже (рис. 6).

**姓名: KONANYKHIN ALEKSANDR**  
**性别: 男**  
**学号: 18SF03286**  
**院系: 计算机科学与技术学院**



**Рис. 6.** Найденная рамка области изображения, содержащая символьную информацию

**Fig. 6.** Found image area frame containing symbolic information

Полученное изображение пригодно для дальнейшего анализа, выделения контуров изображения и сегментации найденного текста.

Данные о вероятности обнаружения символьной информации и вероятности последующего верного распознавания символов приведены в таблице.

**Таблица.** Таблица вероятности обнаружения и распознавания символьной информации после применения методов улучшения выделенной области изображения для быстродействующей обработки символьной информации

**Table.** Table of the probability of detecting and recognizing character information after applying the methods of improving the selected area of the image for high-speed processing of character information

Формат кадра	800×600	1280×760	3800×2600
Вероятность обнаружения, %	95	93	90
Вероятность распознавания, %	50–65	75–85	90–93

## Выводы

Как видно по полученным результатам, при достаточном разрешении изображения использование методов улучшения выделенной области позволяет с

достаточно большой вероятностью обнаружить и распознать символьную информацию в промежутке от 60 до 280 мс в зависимости от качества исходного изображения и количества обнаруженных участков, содержащих символьную информацию.

### Список литературы

1. Распознавание символьной информации для автоматизации производственных процессов / В. С. Панищев, М. И. Труфанов, О. Г. Добросердов, О. О. Хомяков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021. Т. 25, № 1. С. 122-137.
2. Шапиро Л., Стокман. Компьютерное зрение. М.: Бином. 2006. 762 с.
3. Труфанов М. И., Панищев В. С., Фролов М. М. Система технического зрения с множественными источниками изображений // Информационные технологии и математическое моделирование систем 2020: труды Международной научно-технической конференции / Центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук. Одинцово, 2020. С. 124-126.
4. Konanykhin A. U., Panishchev V. S. Algorithm for high-speed processing of symbolic information // Сборник научных статей VIII Международной научно-практической конференции ИИС-2020 / Юго-Западный государственный университет; Московский политехнический университет. Курск, 2020. С. 7-9.
5. Волков Д. А., Панищев В. С., Труфанов М. И. Метод коррекции дисторсии в задачах обработки изображений этикеток // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. Т. 23, № 3. С. 135-147.
6. Бурмака А. А., Говорухина Т. Н., Разумова К. В. Системная модель распознавания и идентификации состояния предстательной железы по ее изображениям УЗИ и ТРУЗИ // Наукоемкие технологии. 2014. Т. 15, № 12. С. 13-20.
7. Бурмака А. А., Говорухина Т. Н., Терехова О. А. Многоканальная измерительная система с нечетким описанием её состояний // Биомедицинская радиоэлектроника. 2014. № 9. С. 28-31.
8. Кореневский Н. А., Юлдашев З. М., Конаныхина Т. Н. Математические методы обработки медико-биологической информации. Математическая статистика. Старый Оскол: Новые наукоемкие технологии, 2021. 304 с.
9. Konanykhin A. Y., Konanykhina T. N. Algorithm for finding contours for the purpose of processing symbolic information in conditions of small symbol size and chromatic aberrations // Conference Series. 10. Ser. "X International Scientific and Practical Conference Information and Measuring Equipment and Technologies, IMET 2020". Top Publishing, 2021. P. 012018.
10. Системный анализ сигналов в информационно-измерительных системах распределенного типа / Т. Н. Конаныхина, Л. А. Лисицын, Д. О. Бобынцев, Т. В. Абрамова. Курск: Университетская книга, 2021. 141 с.

11. Васин Д., Ершов М. Распознавание символов на базе низкоуровневых моделей описания графических изображений // Графикон-2014: труды XXIV Международной конференции по компьютерной графике и зрению. М.: Графика, 2014. С. 62–64.
12. Потапов А. Системы компьютерного зрения: современные задачи и методы // Control Engineering. Russia. 2014. № 1. С. 20–26.
13. Ishmam Zabir, Sudip Paul, Md. Abu Rayhan, Tanmoy Sarker, Shaikh Anowarul Fattah, Celia Shahnaz. Automatic Brain Tumor Detection and Segmentation from Multi-Modal MRI Images Based on Region Growing and Level Set Evolution // IEEE International WIE Conference on Electrical and Computer Engineering, 2015. Р. 503-506.
14. Хасан А. А., Панищев В. С., Решетникова В. П. Анализ текстурных признаков на изображениях // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2014. № 2. С. 102-107.
15. Мишин А. Б., Панищев В. С., Ткачев П. Ю. Выбор структуры нейросетевого фильтра для обработки цифровых изображений // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 3 (48). С. 14-18.
16. Хасан А. А. А., Панищев В. С., Труфанов М. И. Алгоритм сравнения изображений на основе анализа статистических характеристик текстуры // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 4 (25). С. 34-40.
17. Моделирование нейросети для подавления шумов на изображении / М. И. Булаев, В. С. Панищев, В. П. Решетникова, М. И. Труфанов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2015. № 6 (63). С. 58-62.
18. Панищев В. С., Хомяков О. О. Распознавание символьной информации на маркировке автоматических выключателей // Информационные технологии и математическое моделирование систем 2020: труды Международной научно-технической конференции / Центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук. Одинцово, 2019. С. 106-109.
19. Панищев В. С., Бысов И. Д. Нейронная сеть для распознавания рукописных изображений // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание – 2018: сборник материалов XIV Международной научно-технической конференции / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2018. С. 205-206.
20. Галеев Д. Т., Мирошниченко С. Ю., Панищев В. С. Разработка искусственной нейронной сети для решения задачи интерполяции изображений // Телекоммуникации. 2021. № 3. С. 11-16.

21. Панищев В. С. Алгоритм восстановления пикселей изображения на основе нейронной сети // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6 (81). С. 183-188.

### References

1. Panishchev V. S., Trufanov M. I., Dobroserdov O. G., Homyakov O. O. Raspoznavanie simvol'noj informacii dlya avtomatizacii proizvodstvennyh processov [Recognition of symbolic information for the automation of production processes]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2021, no. 25 (1), pp. 122-137.
2. Hapiro S. L., Stokman. Komp'yuternoe zrenie [Computer vision]. Moscow, Binom Publ., 2006. 762 p.
3. Trufanov M. I., Panishchev V. S., Frolov M. M. [Technical vision system with multiple sources of images]. Informacionnye tekhnologii i matematicheskoe modelirovanie sistem 2020. Trudy mezhunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [Information Technologies and mathematical modeling of Systems 2020. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Odintsovo, Center for Information Technologies in Design of the Russian Academy of Sciences Publ., 2020, pp. 124-126. (In Russ.)
4. Konanykhin A. U., Panishchev V. S. [Algorithm for high-speed processing of symbolic information]. Sbornik nauchnykh statei VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii IIS-2020 [Collection of scientific articles of the VIII International Scientific and Practical Conference of the IIS-2020]. Kursk, Southwest State University Publ., 2020, pp. 7-9. (In Russ.)
5. Volkov D. A., Panishchev V. S., Trufanov M. I. Metod korrektsii distorsii v zadachah obrabotki izobrazhenij etiketok [Distortion Correction Method for Label Image Processing]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceeding of the Southwest State University*, 2019, vol. 23, no. 3, pp. 135-147.
6. Burmaka A. A., Govoruhina T. N., Razumova K. V. Sistemnaya model' raspoznavaniya i identifikacii sostoyaniya predstatel'noj zhelezy po ee izobrazheniyam UZI I TRUZI [A systemic model for recognizing and identifying the state of the prostate gland by its images USS AND TRUS]. *Naukoemkie tekhnologii = Science-Intensive Technologies*, 2014, vol. 15, no. 12, pp. 13-20.
7. Burmaka A. A., Govoruhina T. N., Terekhova O. A. Mnogokanal'naya izmeritel'naya sistema s nechetkim opisaniem eyo sostoyaniy [Multichannel measuring system with a fuzzy description of its states]. *Biomedicinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2014, no. 9, pp. 28-31.

8. Korenevskij N. A., Yuldashev Z. M., Konanyhina T. N. Matematicheskie metody obrabotki mediko-biologicheskoy informacii. Matematicheskaya statistika [Mathematical methods for processing biomedical information. Math statistics]. Staryj Oskol, Novye naukoemkie tekhnoloogii Publ., 2021. 304 p.
9. Konanykhin A. Y., Konanykhina T. N. Algorithm for finding contours for the purpose of processing symbolic information in conditions of small symbol size and chromatic aberrations. Conference Series. 10. Ser. "X International Scientific and Practical Conference Information and Measuring Equipment and Technologies. IMET 2020, 2021. Top Publishing, 2021, p. 012018.
10. Konanyhina T. N., Lisicin L. A., Bobyncev D. O., Abramova T. V. Sistemnyj analiz signalov v informacionno-izmeritel'nyh sistemah raspredelennogo tipa [System analysis of signals in information-measuring systems of a distributed type]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2021. 141 p.
11. Vasin D., Ershov M. [Character recognition based on low-level graphic image description models]. Grafikon-2014. Trudy XXIV Mezhdunarodnoi konferentsii po komp'yuternoi grafike i zreniyu [Graphicon-2014. Proceedings of the XXIV International Conference on Computer Graphics and Vision]. Moscow, Graphics Publ., 2014, pp. 62–64. (In Russ.)
12. Potapov A. Sistemy komp'yuternogo zreniya: sovremennye zadachi i metody [Computer vision systems: modern tasks and methods]. *Control Engineering, Russia*, 2014, no. 1, pp. 20–26.
13. Ishmam Zabir, Sudip Paul, Md. Abu Rayhan, Tanmoy Sarker, Shaikh Anowarul Fattah, Celia Shahnaz. Automatic Brain Tumor Detection and Segmentation from Multi-Modal MRI Images Based on Region Growing and Level Set Evolution. IEEE International WIE Conference on Electrical and Computer Engineering, 2015, pp. 503-506.
14. Hasan A. A., Panishchev V. S., Reshetnikova V. P. Analiz teksturnyh priznakov na izobrazheniyah [Analysis of texture features in images]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2014, no. 2, pp. 102-107.
15. Mishin A. B., Panishchev V. S., Tkachev P. Yu. Vybor struktury nejrosetevogo fil'tra dlya obrabotki cifrovyyh izobrazhenij [Choosing a neural network filter structure for digital image processing]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceeding of the Southwest State University*, 2013, no. 3 (48), pp. 14-18.

- 
16. Hasan A. A. A., Panishchev V. S., Trufanov M. I. Algoritm sravneniya izobrazhenij na osnove analiza statisticheskikh harakteristik tekstury [Algorithm for comparing images based on the analysis of statistical characteristics of the texture]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2017, vol. 7, no. 4 (25), pp. 34-40.
17. Bulaev M. I., Panishchev V. S., Reshetnikova V. P., Trufanov M. I. Modelirovaniye nejroseti dlya podavleniya shumov na izobrazhenii [Modeling a neural network to suppress image noise]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2015, no. 6 (63), pp. 58-62.
18. Panishchev V. S., Homyakov O. O. [Recognition of symbolic information on the labeling of circuit breakers]. Informacionnye tekhnologii i matematicheskoe modelirovaniye sistemy 2020. Trudy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [Information Technologies and mathematical modeling of Systems 2020. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Odintsovo, Center for Information Technologies in Design of the Russian Academy of Sciences Publ., 2019, pp. 106-109. (In Russ.)
19. Panishchev V. S., Bysov I. D. [A neural network for handwriting recognition]. Optiko-elektronnye pribory i ustroystva v sistemah raspoznavaniya obrazov, obrabotki izobrazhenij i simvol'noj informacii. Raspoznavanie – 2018. Sbornik materialov XIV Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [Optoelectronic devices and devices in image recognition systems, image processing and symbolic information. Recognition – 2018. Collection of materials of the XIV International scientific and technical conference]. Kursk, Southwest State University Publ., 2018, pp. 205-206. (In Russ.)
20. Galeev D. T., Miroshnichenko S. Yu., Panishchev V. S. Razrabotka iskusstvennoj nejronnoj seti dlya resheniya zadachi interpoliacii izobrazhenij [Development of an artificial neural network for solving the problem of image interpolation]. *Telekommunikacii = Telecommunications*, 2021, no. 3, pp. 11-16.
21. Panishchev V. S. Algoritm vosstanovleniya pikselej izobrazheniya na osnove nejronnoj seti [Algorithm for recovering image pixels based on a neural network]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceeding of the Southwest State University*, 2018, vol. 22, no. 6 (81), pp. 183-188.

**Информация об авторах / Information about the Authors**

**Конаныхин Александр Юрьевич**, аспирант кафедры вычислительной техники, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: alexanderkonan@yandex.ru

**Конаныхина Татьяна Николаевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры программной инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail:govtn@mail.ru

**Панищев Владимир Славиевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: gskunk@yandex.ru

**Alexander Yu. Konanykhin**, Post-Graduate Student of the Department of Computer Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: alexanderkonan@yandex.ru

**Tatyana N. Konanykhina**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Software Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: govtn@mail.ru

**Vladimir S. Panishchev**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Computer Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: gskunk@yandex.ru

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

## SYSTEM ANALYSIS AND DECISION-MAKING

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-120-129>



### Выбор метода приоритизации тестовых наборов при регрессионном тестировании программной системы

Е. И. Аникина<sup>1</sup> и И. Тембо<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

e-mail: elenaanikina@inbox.ru

#### Резюме

**Цель исследования.** Целью проведенного исследования является проведение сравнительного анализа нескольких описанных в литературе методов приоритизации тестовых наборов для выбора наиболее перспективного метода для регрессионного тестирования программных систем.

**Методы.** Регрессионное тестирование, выполняемое для проверки ранее протестированного программного продукта после очередной модификации для устранения обнаруженных дефектов, связано с существенными затратами времени и средств. Методы приоритизации тестовых наборов направлены на определение оптимального (с точки зрения раннего обнаружения дефектов) и эффективного (с точки зрения количества выполненных тестовых случаев) порядка их выполнения. Известно несколько таких методов, и перед командой разработчиков программной системы возникает проблема выбора из них наиболее результативного. В данной работе рассмотрены следующие методы приоритизации: метод на основе анализа сходства текстов требований к программному обеспечению, метод на основе совместного анализа факторов риска и важности требований, метод на основе выявления критического компонента в исходном коде, метод на основе использования дополнительного покрытия функций и метод на основе анализа системы артефактов жизненного цикла разработки программного продукта.

**Результаты.** На основе сравнительного анализа рассмотренных методов приоритизации был сделан вывод о том, что среди рассмотренных альтернатив наиболее эффективным представляется метод, основанный на анализе системы артефактов жизненного цикла разработки программного продукта.

**Заключение.** Метод приоритизации, основанный на анализе системы артефактов жизненного цикла разработки программного продукта, наиболее полно соответствует базовым для современной методологии программной инженерии, принципам системного анализа и может быть использован для решения задач обеспечения качества программ.

**Ключевые слова:** жизненный цикл разработки программного обеспечения; регрессионное тестирование; приоритизация тестов; требования к программной системе; системный анализ.

© Аникина Е. И., Тембо И., 2021

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

**Для цитирования:** Аникина Е. И., Тембо И. Выбор метода приоритизации тестовых наборов при регрессионном тестировании программной системы // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 120–129. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-120-129>

Поступила в редакцию 04.10.2021

Подписана в печать 02.11.2021

Опубликована 20.12.2021

## Choosing a Method of Test Cases Prioritizing for Regression Testing of a Software System

Elena I. Anikina<sup>1</sup>, Isheunesu Tembo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: elenaanikina@inbox.ru

### Abstract

**The purpose of research** is to conduct a comparative analysis of several methods for prioritizing test suites described in the literature to select the most promising method for regression testing of software systems.

**Methods.** Regression testing being performed to check a previously tested software product after the next modification to eliminate detected defects is associated with a significant investment of time and money. Methods for prioritizing test cases are aimed at determining the optimal (from the point of view of early detection of defects) and efficient (from the point of view of the number of executed test cases) order of their execution. Several such methods are known, and the software development team faces the problem of choosing the most effective one. In this paper, the following prioritization methods are considered: a method based on the analysis of the similarity of texts of software requirements, a method based on a joint analysis of risk factors and the importance of requirements, a method based on identifying a critical component in the source code, a method based on the use of additional coverage of functions and a method based on the analysis of the system of artifacts of the life cycle of software product development.

**Results.** Based on a comparative analysis of the considered prioritization methods, it was concluded that among the considered alternatives, the method based on the analysis of the artifact system of the software product development life cycle seems to be the most effective.

**Conclusion.** The prioritization method based on the analysis of the system of artifacts of the life cycle of software product development is most fully consistent with the basic ones for modern software engineering methodology, principles of systems analysis and can be used to solve the problems of ensuring the quality of programs.

**Keywords:** software development life cycle; regression testing; prioritization of tests; software system requirements; system analysis.

**Conflict of interest:** The authors declares no conflict of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Anikina E. I., Tembo I. Choosing a Method of Test Cases Prioritizing for Regression Testing of a Software System. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer*

## Введение

Тестирование является одной из основных стадий жизненного цикла разработки программного продукта, на которую приходится от 30 до 40 процентов затрат времени и средств [1; 2]. Регрессионное тестирование – это проверка ранее протестированного программного продукта после очередной модификации для устранения обнаруженных дефектов. Регрессионное тестирование выполняется, чтобы убедиться в том, что внесенные в программу изменения не только исправили ранее найденные дефекты, но и не нарушили нормальное функционирование немодифицированных программных модулей.

Процедура повторной проверки при регрессионном тестировании подразумевает использование как ранее разработанных, так и новых тестовых наборов, поэтому является дорогостоящей и требует много времени [2; 3; 4].

Достаточно часто для регрессионного тестирования допустимо использование некоторого подмножества набора тестов для проверки модифицированной программы. Вместе с тем существуют программные системы, для которых невозможно или недопустимо использование неполного набора тестов. Это программные системы, надежность которых

является критичной (например, программное обеспечение для авиационной или медицинской техники). В данном случае для уменьшения времени и стоимости регрессионного тестирования может быть применен иной подход: тесты упорядочиваются (приоритизируются) таким образом, чтобы более важные из них выполнялись в первую очередь.

Для повышения эффективности регрессионного тестирования вводятся различные методы выбора тестовых наборов, такие как сокращение количества тестов, выбор тестов и приоритизация тестов [2]. Сокращение количества тестов и выбор тестов снижают надежность регрессионного тестирования из-за исключения тестовых наборов, тогда как при расстановке приоритетов выбирается определенный порядок выполнения тестов с точки зрения обнаружения ошибок, не пропуская никаких тестовых наборов.

Приоритизация тестовых примеров определяет последовательность применения тестовых наборов для обеспечения возможности обнаружения дефектов на ранних этапах [2; 5; 6]. Приоритизация не всегда полностью гарантирует, но, как правило, увеличивает вероятность раннего обнаружения дефектов [7].

Приоритизация тестовых наборов переупорядочивает тестовые наборы для

более ранней обратной связи тестировщиков программного обеспечения с менеджерами проектов для принятия решений об исправлении дефектов модулей, что особенно важно при регрессионном тестировании.

В методах приоритизации всем тестовым наборам назначаются значения приоритета на основе точности обнаружения ошибок. Перед выпуском программного обеспечения более высокий приоритет отдается тестовым наборам на основе взаимосвязанной информации, которая содержится в системе артефактов жизненного цикла разработки программной системы.

### **Материалы и методы**

Цели методов приоритизации тестовых наборов состоят в определении оптимального (с точки зрения раннего обнаружения ошибок) и эффективного (с точки зрения количества выполненных тестовых случаев) порядка их выполнения.

Приоритизация тестовых примеров формулируется как математическая задача следующим образом.

Дано:

- Т – набор тестов
- PT – множество перестановок Т
- f: PT → R – функция от PT

Задача:

найти

$T' \in P T$  такое, что  $(\forall T'') (T'' \in P T) (T'' \neq T') [f(T') > f(T'')]$ .

Здесь PT представляет собой набор всех возможных схем приоритизации T, а f – функция, которая, будучи примененной к любой схеме, дает значение весового коэффициента для назначения приоритета.

Исследования по приоритизации тестовых наборов можно разделить на несколько направлений: принятие решений о приоритетах тестов на основе анализа требований к программному обеспечению для раннего обнаружения неисправных модулей [8; 9]; назначение приоритетов тестов на основе анализа исходного кода для получения максимального покрытия кода [2; 10]; назначение приоритетов без непосредственного рассмотрения информации артефактов жизненного цикла разработки программной системы [11; 12; 13].

Методы приоритизации на основе анализа требований к программному обеспечению, описанные в работах [3; 7; 9], основаны на признании ключевой роли функционального тестирования программного обеспечения. В работе [9] рассматривается совместный фактор риска и важности (RSF) для отслеживания потенциальных тестовых случаев. Каждому требованию заказчиков и разработчиков вручную присваиваются значения важности, которые добавляются к фактору риска этих требований. Каждому требованию в зависимости от их важности присваивают значения коэффициентов, которые названы авторами факторами вероятности. В результате

было получено числовое значение взвешенного риска и приоритета требований путем умножения связанных значений риска и вероятности. Однако при этом не учитываются информация о трассируемости требований и приоритет исходного кода, что может вызвать сомнения в результатах данного метода.

В работе [8] предложен подход к расстановке приоритетов на основе анализа текстов требований, при котором похожие требования группируются вместе на основе их текстового сходства. Кластеры требований создаются с использованием значений подобия, где одинаковые требования относят к одному и тому же кластеру.

Метод на основе выявления критического компонента в исходном коде программного обеспечения представлен в работе [14]. Авторы реализовали подход к приоритизации тестовых примеров для улучшения покрытия кода, при котором в первую очередь выполняются тестовые наборы для компонентов программного обеспечения, идентифицируемых как критически важные для реализации его функций.

Авторами исследований [15; 16] разработан метод с использованием дополнительного покрытия функций для раннего обнаружения ошибок, в котором функции являются основой для присвоения тестам весовых коэффициентов.

Инструмент определения приоритетов на основе генетических алгоритмов был реализован в [13; 17] для определения порядка тестовых наборов по трем

параметрам: структура, функция и стоимость.

Однако упомянутые подходы для определения приоритетов были разработаны с учетом только требований или только исходного кода, что приводит к неполному представлению информации о процессе разработки программного продукта. Поскольку тестирование является одним из последних этапов жизненного цикла разработки, любые ошибки или сбои на предыдущих этапах могут распространяться на любой следующий этап. С другой стороны, на каждом этапе жизненного цикла разработки для представления программного обеспечения применяют определенные модели и документы (артефакты), совокупность которых необходимо рассматривать как систему при принятии решений о приоритизации тестов.

## Результаты и их обсуждение

В отличие от описанных выше методов метод приоритизации RDCC [18; 19] основан именно на анализе системы артефактов жизненного цикла разработки программного продукта. Название RDCC (*requirements, design diagrams and source code collaboration*) фактически означает взаимосвязанный анализ требований, диаграмм проектирования и исходного кода программных модулей.

Идея метода заключается в следующем. Исходными данными являются спецификации требований к программной системе, диаграммы проектирова-

ния, исходные коды и тестовые примеры. Спецификации требований преобразуются с целью исключением из них стоп-слов и последующего разбиения на слова или термины для вычисления частоты употребления терминов и подсчета коэффициентов взаимосвязанности требований.

Диаграммы проекта преобразуются в читаемый формат XML для расчета коэффициентов взаимосвязанности действий.

На основе анализа исходного кода программных модулей строятся графы вызовов, на которых вершины представляют программные классы, а ребра представляют вызовы между парами классов для определения коэффициентов зависимости классов.

Коэффициенты взаимосвязанности требований, коэффициенты взаимосвязанности действий проекта и коэффициенты зависимости классов умножаются на присвоенный им вес для расчета весовых коэффициентов. Эти три параметра приоритета используются для назначения окончательных значений приоритета тестовым примерам для раннего обнаружения ошибок и минимизации количества выполнений тестовых примеров. Совокупные значения приоритета различных фаз жизненного цикла назначаются связанным тестовым примерам. Наконец, тестовые примеры сортируются в порядке убывания на основе их значений приоритета. За счет системного анализа артефактов предлагаемая

схема RDCC преодолевает ограничения методов приоритезации, которые анализируют отдельные фазы жизненного цикла разработки программ.

Авторы данного метода проверяли его на различных программных проектах и доказали, что предлагаемый совместный подход работает лучше, чем другие реализованные схемы приоритезации тестовых примеров с учетом отдельных фаз жизненного цикла.

## Выводы

Методы приоритизации тестовых наборов сокращают время и затраты на разработку программного обеспечения за счет максимального увеличения процента обнаружения дефектов при минимизации затрат на выполнение тестовых наборов. Чтобы достичь хорошего результата приоритизации, необходимо совместно использовать информацию разных стадий жизненного цикла программного продукта, а именно: требования, проектные схемы и исходный код.

На основе анализа описанных методов приоритизации был сделан вывод о том, что среди рассмотренных альтернатив наиболее перспективным для применения при регрессионном тестировании программных систем представляется метод RDCC.

Экспериментально доказано, что предложенная схема RDCC имеет более низкий процент выполнения тестовых наборов и более высокий процент обнаружения дефектов. Предложенная схема RDCC может привести к эффективному

подходу к приоритизации за счет максимизации скорости обнаружения ошибок и минимизации процента выполнения тестовых наборов.

Эффективность схем приоритизации тестовых наборов тесно связана с процессом разработки тестовых наборов. На эффективность приоритизации могут отрицательно повлиять нереле-

вантные тестовые наборы. Перед установлением приоритетов тестовых случаев необходимо проверить процессы генерации тестов. Разработка методов проектирования совершенных тестовых наборов может стать будущим направлением исследований в области повышения эффективности схем приоритизации.

### **Список литературы**

1. Metaheuristic approach for constructing functional test-suites / G. H. Avila, J. J. Torres, H. L. Gonzalez, V. Hernandez // IET Software. 2013. Vol. 7, N 2. P. 104–117.
2. Rajarathinam K., Natarajan S. Test suite prioritisation using trace events technique // IET Software. 2013. Vol. 7, N 2. P. 85–92.
3. A dynamic test prioritisation based on du-chain coverage for regression testing / L. Pan, T. Wang, J. Qin, X. Xiang // International Journal of Embedded Systems. 2018. Vol. 10, N 2. P. 113–119.
4. Hasan A., Rahman A., Siddik M. S. Test case prioritization based on dissimilarity clustering using historical data analysis // International Conference on Information, Communication and Computing Technology. Springer, 2017. P. 269–281.
5. Rahman M. A., Hasan M. A., Siddik M. S. Prioritizing dissimilar test cases in regression testing using historical failure data // Int. Journal of Computer Applications. 2018. Vol. 180, N 14. P.1–8.
6. Towards an efficient risk assessment in software projects—fuzzy reinforcement paradigm / A. K. Sangaiah, O. W. Samuel, X. Li, M. Abdel-Basset, H. Wang // Computers & Electrical Engineering. 2018. Vol. 71. P. 833–846.
7. Islam M. M., Marchetto A., Susi A. G. A multi-objective technique to prioritize test cases based on latent semantic indexing // 16th European Conference on Software Maintenance and Reengineering (CSMR). 2012. P. 21–30.
8. Arafeen M., Do H. Test case prioritization using requirements-based clustering // Sixth International Conference on Software Testing, Verification and Validation (ICST). IEEE, 2013. P. 312–321.
9. Srivastva P. R., Kumar K., Raghurama G. Test case prioritization based on requirements and risk factors // ACM SIGSOFT Software Engineering Notes. 2008. Vol. 33, N 4. P. 7.

10. Haidry S., Miller T. Using dependency structures for prioritization of functional test suites // IEEE Transactions on Software Engineering. 2013. Vol. 39, N 2. P. 258–275.
11. A simulation study on some search algorithms for regression test case prioritization / S. Li, N. Bian, Z. Chen, D. You, Y. He // 10th International Conference on Quality Software (QSIC). IEEE, 2012. P. 72–81.
12. Malhotra R., Tiwari D. Development of a framework for test case prioritization using genetic algorithm // ACM SIGSOFT Software Engineering Notes. 2013. Vol. 38, N 3. P. 1–6.
13. MOTCP: a tool for the prioritization of test cases based on a sorting genetic algorithm and latent semantic indexing / M. M. Islam, A. Marchetto, A. Susi, F. B. Kessler, G. Scanniello // 28th International Conference on Software Maintenance (ICSM). IEEE. 2012. P. 654–657.
14. Mala D. J., Praba M. R. Critical components identification and verification for effective software test prioritization // Third International Conference on Advanced Computing (IcoAC). IEEE. 2011. P. 181–186.
15. Elbaum S., Malishevsky A. G., Rothermel G. Test case prioritization: a family of empirical studies // IEEE Transactions on Software Engineering. 2012. Vol. 28, N 2. P. 159–182.
16. Corriveau J., Shi W. Traceability in Acceptance Testing // Journal of Software Engineering and Applications, 2013. Vol. 6, N 10. P. 36-46.
17. Zielinska A. Framework for Extensible Application Testing // Journal of Software Engineering and Applications. 2012. Vol. 5, N 5. P. 351-363.
18. Siddik M. S., Sakib K. RDCC: an effective test case prioritization framework using software requirements, design and source code collaboration // 17th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT). IEEE. 2014. P. 75–80.
19. Siddik M. S., Rahman M. A., Sakib K. Prioritising test cases by collaborating artefacts of software development life cycle // Int. J. Forensic Software Engineering. 2019. Vol. 1, N 1. P. 47–72.

## References

1. Avila G. H., Torres J. J., Gonzalez H. L., Hernandez V. Metaheuristic approach for constructing functional test-suites. *IET Software*, 2013, vol. 7, no. 2, pp. 104–117.
2. Rajarathinam K., Natarajan S. Test suite prioritisation using trace events technique. *IET Software*, 2013, vol. 7, no. 2, pp. 85–92.
3. Pan L., Wang T., Qin J., Xiang X. A dynamic test prioritisation based on du-chain coverage for regression testing. *International Journal of Embedded Systems*, 2018, vol. 10, no. 2, pp. 113–119.
4. Hasan A., Rahman A., Siddik M. S. Test case prioritization based on dissimilarity clustering using historical data analysis. International Conference on Information, Communication and Computing Technology. Springer, 2017, pp. 269–281.

5. Rahman M. A., Hasan M. A., Siddik M. S. Prioritizing dissimilar test cases in regression testing using historical failure data. *Int. Journal of Computer Applications*, 2018, vol. 180, no. 14, pp. 1–8.
6. Sangaiah A. K., Samuel O. W., Li X., Abdel-Basset M., Wang H. Towards an efficient risk assessment in software projects—fuzzy reinforcement paradigm. *Computers & Electrical Engineering*, 2018, vol. 71, pp. 833–846.
7. Islam M. M., Marchetto A., Susi A. G. A multi-objective technique to prioritize test cases based on latent semantic indexing. 16th European Conference on Software Maintenance and Reengineering (CSMR), 2012, pp. 21–30.
8. Arafeen M., Do H. Test case prioritization using requirements-based clustering // Sixth International Conference on Software Testing, Verification and Validation (ICST). IEEE, 2013, pp. 312–321.
9. Srivastva P. R., Kumar K., Raghurama G. Test case prioritization based on requirements and risk factors. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 2008, vol. 33. no. 4, p. 7.
10. Haidry S., Miller T. Using dependency structures for prioritization of functional test suites. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 2013, vol. 39, no. 2, pp. 258–275.
11. Li S., Bian N., Chen Z., You D., He Y. A simulation study on some search algorithms for regression test case prioritization. 10th International Conference on Quality Software (QSIC), IEEE, 2012, pp. 72–81.
12. Malhotra R., Tiwari D. Development of a framework for test case prioritization using genetic algorithm. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 2013, vol. 38, no. 3, pp. 1–6.
13. Islam M. M., Marchetto A., Susi A., Kessler F. B., Scanniello G. MOTCP: a tool for the prioritization of test cases based on a sorting genetic algorithm and latent semantic indexing. 28th International Conference on Software Maintenance (ICSM), IEEE, 2012, pp. 654–657.
14. Mala D. J., Praba M. R. Critical components identification and verification for effective software test prioritization. Third International Conference on Advanced Computing (IcoAC), IEEE, 2011, pp. 181–186.
15. Elbaum S., Malishevsky A. G., Rothermel G. Test case prioritization: a family of empirical studies. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 2012, vol. 28, no. 2, pp. 159–182.
16. Corriveau J., Shi W. Traceability in Acceptance Testing. *Journal of Software Engineering and Applications*, 2013, vol. 6, no. 10, pp. 36-46.
17. Zielinska A. Framework for Extensible Application Testing. *Journal of Software Engineering and Applications*, 2012, vol. 5, no. 5, pp. 351-363.

18. Siddik M. S., Sakib K. RDCC: an effective test case prioritization framework using software requirements, design and source code collaboration. 17th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT), IEEE, 2014, pp. 75–80.
19. Siddik M. S., Rahman M. A., Sakib K. Prioritising test cases by collaborating artefacts of software development life cycle. *Int. J. Forensic Software Engineering*, 2019, vol. 1, no. 1, pp. 47–72.

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Аникина Елена Игоревна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программной инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: elenaanikina@inbox.ru, ORCID: 0000-0001-6047-8688

**Elena I. Anikina**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Software Engineering Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: elenaanikina@inbox.ru, ORCID: 0000-0001-6047-8688

**Тембо Ишеунесу**, студент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: isheunesu48@gmail.com

**Isheunesu Tembo**, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: isheunesu48@gmail.com

## Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-130-145>

## Научно-практическая конференция как педагогическая технология профессиональной подготовки IT-специалистов в университете

Р. А. Томакова<sup>1</sup>✉, В. И. Томаков<sup>1</sup>, А. В. Брежнев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

<sup>2</sup> Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова  
Стремянный переулок 36, г. Москва 117997, Российская Федерация

✉ e-mail: rtomakova@mail.ru

### Резюме

**Целью** исследования является представление научно-практической конференции как педагогической технологии формирования компетентности при подготовке IT-специалистов.

**Методы.** Методология исследования базируется на компетентностном, системном и интегративном подходе в образовании. Использовались традиционные для теоретико-прикладных исследований методы: анализ, синтез, наблюдение, систематизация.

Материалом настоящего исследования послужили теоретические и практические работы, посвященные подготовке будущих IT-специалистов, а также собственный опыт организации и проведения научно-практических конференций.

**Результаты.** Актуальность исследования определена необходимостью глубокой модернизации образовательного процесса подготовки IT-специалистов под запросы рынка труда в условиях цифровой экономики.

Конференция продемонстрировала высокую заинтересованность молодежи к углубленному изучению и развитию актуальных проблем, генерированию новых идей, связанных с IT-технологиями. Все эти факты способствуют приобретению новых знаний в контексте будущей профессиональной деятельности и формированию требуемых компетенций и подтверждают, что конференция должна рассматриваться как педагогическая технология при подготовке IT-специалистов в высшей школе.

**Заключение.** Научно-практическую конференцию следует рассматривать как педагогическую технологию, позволяющую активизировать научную, образовательную и инновационную деятельность преподавателей, сотрудников, студентов и аспирантов и тем самым улучшить подготовку IT-специалистов под запросы цифровой экономики. Подготовка к участию и участие в таком мероприятии позволяют развить такие метапредметные навыки, как креативность, осознанность, гибкость поведения, корпоративность, интегральное мышление, внимательность и другие, которые обеспечивают переход на новый уровень взаимодействия с людьми и адаптивность к внешней среде.

**Ключевые слова:** высшее образование; научно-практическая конференция; педагогическая технология; подготовка IT-специалистов.

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

© Томакова Р. А., Томаков В. И., Брежнев А. В., 2021

**Для цитирования:** Томакова Р. А., Томаков В. И., Брежнев А. В. Научно-практическая конференция как педагогическая технология профессиональной подготовки IT-специалистов в университете // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 130–145. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-130-145>

Поступила в редакцию 18.10.2021

Подписана в печать 14.11.2021

Опубликована 20.12.2021

## Discussion As a Pedagogical Technology for the Development of Soft Skills of Future IT Specialists

Rimma A. Tomakova<sup>1</sup>✉, Vladimir I. Tomakov<sup>1</sup>, Alexey V. Brezhnev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Southwest State University

50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

<sup>2</sup> Plekhanov Russian University of Economics

36 Stremyanny per., Moscow 117997, Russian Federation

✉ e-mail: rtomakova@mail.ru

### Abstract

**The purpose of the research** is to use the potential didactic possibilities of discussion as a pedagogical technology for the development of soft skills of future IT specialists.

**Methods.** The research methods is based on the competence-based, contextual and integrative approach in education. We used traditional methods for theoretical and applied research – analysis, synthesis, pedagogical observation, systematization of facts.

The material of this research is scientific works that explore practical issues of training future IT specialists in universities, as well as our own experience in organizing and conducting discussions on the results of practices provided for in the educational program of the "Software Engineering" direction.

**Results.** The relevance of the study is determined by the need to improve the educational process based on the widespread use of interactive technologies in higher professional education for training specialists of a qualitatively new level in the context of the development of the digital economy. These specialists must be competitive and in demand in the labor market, be able to solve problems in a rapidly changing situation.

The experience of organizing and conducting discussions based on the results of practical training has proved that the discussion has great opportunities for professional training and development of soft skills of future IT specialists, since it creates situations and conditions for the discussion participant to form, develop and consolidate personal qualities, ensures the manifestation of individuality and active involvement of students in the search and proof of truth.

**Conclusions.** Discussion is possible only in the implementation of preliminary theoretical and practical training of students on the problem under consideration. As a pedagogical technology of interactive learning, it will ensure success only when analyzing problems for which there is no unambiguous solution, which require active joint discussion, have a personally and professionally significant character for the participant. A significant success factor is the willingness of the practice manager, experts and students to discuss, who are obliged to responsibly accept the rules of interaction before the discussion and observe them by each participant during the discussion, to have a culture of dispute management, adequate self-esteem, openness of thinking, breadth of creative imagination, tolerance.

**Keywords:** higher education; scientific and practical conference; pedagogical technology; training of IT specialists.

**Conflict of interest:** The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Tomakova R. A., Tomakov M. V., Brezhnev A. V. Discussion as a Pedagogical Technology for the Development of Soft Skills of Future IT Specialists. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2021; 11(4): 130–145. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-130-145>

Received 18.10.2021

Accepted 14.11.2021

Published 20.12.2021

\*\*\*

## Введение

Прошедшее десятилетие в нашей стране характеризовалось значительным уровнем развития науки и техники, инновационными процессами и интенсивным реформированием многих социальных институтов, ряда отраслей промышленности, строительства, разработкой и внедрением современных цифровых технологий во все сферы деятельности. Очевидна потребность в инициативных, творчески мыслящих специалистах, обладающих высоким исследовательским потенциалом, способных самостоятельно выдвигать и решать различные задачи, профессионально действовать в нестандартных ситуациях. Необходимо готовить студентов к этим изменениям, учить их осуществлять различные виды профессиональной деятельности. Подготовка специалистов в таком направлении была и остается одной из ключевых задач высшего образования. Для этого вузы должны готовить компетентных выпускников, которые смогут решать задачи в условиях неопределенности, добывать знания самостоятельно на протяжении всей жизни,

чтобы быть успешными и востребованными в разное время и в различных условиях.

Сегодня мы наблюдаем, как формируется запрос общества на дополнительные компетенции, связанные с реализацией государственной программы «Цифровая экономика РФ». Цифровая экономика предопределила новые потребности общества, прежде всего развитие информационных технологий. Кадры и образование представляют одно из пяти базовых направлений развития цифровой экономики. Федеральный проект «Кадры для цифровой экономики» в части подготовки кадров выделил специальные компетенции: «цифровое» мышление, работа с большими данными, создание цифровых продуктов, ведение IT-бизнеса и работа с технологиями построения современных информационных систем [1]. В этом аспекте значительно возросла роль университетов в профессиональной подготовке IT-специалистов мирового уровня [2]. Они должны решить вопрос, как подготовить качественные кадры для цифровой экономики в новых условиях и обеспечить российской экономике и

всему обществу уверенное вхождение в цифровую эпоху [3].

В научных публикациях указывается на необходимость использования инноваций и современных образовательных технологий в подготовке IT-специалистов [4; 5; 6; 7; 8; 9] и др.

Скоординированное сотрудничество преподавательского корпуса и обучающихся на базе инженерных центров как точек активных разработок [10], привлечение специалистов из IT-компаний [11] в определенной мере – все это способствует качественной реализации образовательных программ при подготовке будущих IT-специалистов.

Учитывая отмеченные обстоятельства, должное внимание следует уделять подготовке будущих IT-специалистов к решению творческих, исследовательских задач в цифровой среде и использовать для этого все возможные образовательные условия и педагогические технологии, интегрированные в образовательный процесс университета [12].

Решать данную проблему в вузах помогают научно-практические конференции, являющиеся неотъемлемой частью процесса формирования нового знания. По этой причине участие студентов в конференциях такого плана является существенным и доступным инструментом их профессионального и личностного развития и саморазвития, формой инвестирования в свои знания, в процесс становления своего професионализма и в будущую карьеру.

Образовательный потенциал научно-практической конференции недостаточно востребован в образовательной практике университетов при подготовке IT-специалистов. Причинами являются недостаточное владение технологией ее организации, нежеланием или неумением проводить это трудоемкое мероприятие. Как следствие, возникает противоречие между необходимостью в качественной профессиональной подготовке IT-специалистов и использованием научно-практической конференции как педагогической технологии, интегрированной в образовательный процесс.

Выполненный анализ научных публикаций показал, что, несмотря на интенсивный поиск и внедрение инновационных методов обучения IT-специалистов, в настоящее время недостаточно изучен вопрос о месте и роли научно-практической конференции всероссийского уровня как педагогической технологии в подготовке IT-специалистов и формировании комплекса компетенций, что придает рассматриваемому исследованию актуальность.

## **Материалы и методы**

Методология исследования базируется на компетентностном, системном и интегративном подходе в образовании. Согласно позициям компетентностного подхода, современное образование строится на принципах непрерывности овладения знаниями, формирования умения

применять приобретенные знания в нестандартных ситуациях и умения самостоятельно учиться. Содержание непрерывного образования непосредственно определяется развитием современного мира, практикой решения возникающих проблем и должно быть ориентировано на будущие проблемные ситуации, разрешение которых рассчитывает применение знания основ наук в качестве средств и методов преобразования действительности.

Реализация содержания образования представляет собой системно организованный учебно-воспитательный процесс целенаправленного формирования всесторонне и гармонически развитой личности, обеспечивающий поступательный процесс развития способностей и качеств личности.

Содержание образования реализуется посредством комплекса образовательных технологий, интегрированных в учебно-воспитательный процесс, в соответствие с чем обучение рассматривается как многоуровневый непрерывный и целостный процесс.

Материалом настоящего исследования послужили публикации, освещающие практический опыт организации и проведения научных конференций с участием студентов, научные работы, раскрывающие образовательный потенциал конференций как педагогических технологий, а также собственный опыт организации и проведения всероссийских научно-практических конференций.

Использовались традиционные для теоретико-прикладных исследований методы: анализ, синтез, наблюдение, систематизация.

### **Результаты и их обсуждение**

Формат такого мероприятия в образовательном процессе, как конференция, не является чем-то новым. Конференции задействованы в учебном процессе для формирования у студентов различных направлений подготовки тех или иных компетентностей (коммуникативной, научно-исследовательской, иноязычной, экологической, математической и др.). Конференция рассматривается как метод активизации познавательной деятельности студентов [13; 14], как метод личностного и профессионального саморазвития и развития [15; 16], как способ повышения заинтересованности студентов при изучении иностранного языка [17], как пространство профессионализации [18], как способ повышения качества подготовки инженеров [19] и др.

Все перечисленное относится к конференциям учебного формата, организуемым в учебное время отдельными преподавателями в рамках изучаемой дисциплины (или нескольких родственных дисциплин), и к локальным конференциям на уровне вуза.

Организация, подготовка и проведение научно-практических конференций всероссийского масштаба – все это представляет собой сложный и весьма трудоёмкий процесс, обусловленный нали-

чием научных исследований и разработанностью научной проблематики в той или иной отрасли знания профессорско-преподавательским составом кафедр университетов, уровнем организации научно-исследовательской работы студентов и их вовлеченности в этот процесс. Существенное влияние на организацию и проведение конференций также оказывает коллективная научная коммуникация с родственными подразделениями других вузов, личные научные контакты. Научное мероприятие такого формата, как Всероссийская научно-практическая конференция, проводимая образовательной организацией, в данном случае – университетом, предполагает участие в ней большого количества высококвалифицированных специалистов, работающих в одном научном и образовательном поле. Для её организации и проведения необходимы людские, финансовые ресурсы и современное техническое оснащение, наличие которого крайне необходимо для предоставления участникам возможности работать в формате онлайн, расширяя этим самым географию участников и привлекая большее количество специалистов, представляющих своих научные результаты и студентов, заинтересованных в приобретении новых знаний.

Для научно-педагогического сообщества и студентов университета научно-практическая конференция как публичное событие представляет собой одну из форм взаимодействия как между

отдельными участниками, так и организациями и являются для них немаловажным способом демонстрации имеющихся и источником получения новых знаний и информации.

Значимость конференций для научного сообщества университета, включая студентов, имеет несколько общих и весомых аргументов.

Во-первых, вполне очевидно: участие в конференции дает прямой доступ к новым методам исследования, идеям и знаниям. Например, можно выслушать чей-то доклад, задать вопросы докладчику, апробировать свою разработку в аудитории, а также сгенерировать новые идеи в ходе обсуждений материала с другими участниками. В рамках мероприятия происходит объединение потоков научной информации от разных участников и разных научных школ. Это дает возможность получить актуальную информацию об общих тенденциях в интересующей области науки и практики без конкретного участия в этих процессах, а в некоторых случаях – о разработках партнеров и конкурентов. Иногда предоставляется возможным найти решение собственной конкретной проблемы и потенциальных потребителей идей.

Во-вторых, конференция предоставляет возможность поддерживать уже существующие связи, закрепляет их и устанавливает новые неформальные профессиональные, образовательные, научные контакты и долговременные

связи с различными университетами, ведущими учеными, специалистами и высокотехнологичными организациями, способствующими дальнейшему сотрудничеству и обмену опытом. Другими словами, участие в конференциях способствует выстраиванию многосторонних связей, которые университет может использовать в любой момент для поиска экспертизы своих научных работ и получения новых знаний.

В-третьих, участие в конференциях представителей ведущих университетов, специалистов высокотехнологичных организаций положительно влияет на инновационную активность участников и процесс продвижения и реализации новых идей. При этом инновационная активность объективно обуславливает повышение качества предлагаемого научного продукта.

Значимость конференций для студентов также выражается несколькими положительными основаниями.

Во-первых, это отличная платформа, на которой студенту предоставляется возможность обсуждения своих идей на широком профессиональном уровне, получить ответ на свой вопрос от специалистов высокой квалификации, которые, как правило, открыты для общения, а также это отличная возможность заявить о себе и реализовать исследовательские амбиции.

Во-вторых, у студента в результате выступления на конференциях вырабатывается навык публичных выступлений, он приобретает опыт защиты своей

точки зрения и ведения дискуссий на профессиональные темы

В-третьих, сам факт участия студента даже в качестве слушателя способствует повышению мотивации к изучению проблем собственного исследования, дает ему больше возможностей для успешного освоения образовательной программы, поскольку можно узнать много новой информации, познакомиться с новыми людьми, которые в свою очередь могут поспособствовать дальнейшей научной деятельности и даже трудоустройству.

В-четвертых, конференция служит средством контроля и оценки учебной деятельности студентов и самостоятельной научной работы.

В связи с вышесказанным предлагаем рассматривать проведение конференций, участие в них студентов и связанные с ним образовательные эффекты в аспекте компетентностного подхода – знания и способности к их непрерывному обновлению составляют основу и преимущества компетентностного подхода в образовании. Этот подход к анализу и роли конференций позволяет преодолеть мнения и допущения об изолированности конференций от других методов обучения, науки и практики, увидеть в комплексе сформированные знания, умения и владение навыками, демонстрируемые обучающимися, и наметить пути улучшения, а в ряде случаев – модернизации процесса обучения в рамках реализуемой образовательной программы.

Значительным потенциалом для подготовки студента к участию в конференции обладает научно-исследовательская работа под руководством преподавателя, которая соединяет в единое целое элементы активного обучения, результатом которой являются доклады на конференциях, написание и опубликование научных статей. В них студенты интересно, последовательно, понятно и грамотно могут излагать научные идеи и практические решения, демонстрируя этим самым уровень сформированных компетенций.

Образовательный эффект от такого вида работы заключается в том, что у студента происходит развитие навыков самостоятельной работы, формируется умение выполнять научный поиск, в ходе которого он рассматривает и систематизирует разнообразные события, факты и точки зрения по изучаемой проблеме, анализирует и обобщает научный материал и делает собственные выводы и заключения. В ходе работы над докладом он ведет обоснованную дискуссию, отвечая на вопросы руководителя, приобретает навыки грамотного, краткого изложения своих мыслей; учится правильному оформлению научных работ. Этим самым вносится ощутимый вклад в формирование требуемых компетентностей. Следовательно, необходимость участия студентов в конференциях очевидна.

Еще одна положительная сторона заключается в том, что в ходе научной

работы происходит укрепление научного и педагогического сотрудничества среди студентов и научных руководителей.

Начиная с 2017 г. ежегодно в нашем университете на кафедре программной инженерии проводится Всероссийская научно-практическая конференция «Программная инженерия: современные тенденции развития и применения», которая носит открытый характер как по составу участников, так и по тематике представляемых работ.

Мероприятие является одним из этапов совместной научно-исследовательской деятельности преподавателей и студентов в рамках программы федерального проекта «Кадры для цифровой экономики».

Научные доклады охватывают широкий спектр проблем в сфере моделирования, проектирования, создания, анализа и разработки информационных систем различного назначения, а также вопросы, касающихся разработки и внедрения новых информационных ИТ-технологий. Целями проведения конференции являются развитие широкого межрегионального научного сотрудничества и обмена опытом в области фундаментальных проблем, современных технологий и практических успехов в области программной инженерии, создание условий российским ученым и аспирантам, преподавателям и студентам вузов для обмена результатами исследова-

ний, систематизация актуальных проблем и выявление тенденций развития научных исследований. Конференция ориентирована в первую очередь на начинающих исследователей – студентов бакалавриата, магистрантов и аспирантов с целью развития их интеллектуального потенциала, приобретения ими научных взглядов и практических навыков в области современных технологий и методов по эффективному решению ИТ-задач.

В разные годы тематика докладов охватила все ключевые направления развития ИТ-сфера. В ходе конференции обсуждались вопросы по таким направлениям, как:

1. Современные технологии и средства разработки программно-информационных систем.

2. Интеллектуальные технологии поддержки принятия решений и обработки изображений.

3. Математическое и компьютерное моделирование.

5. ИТ-продукты и услуги.

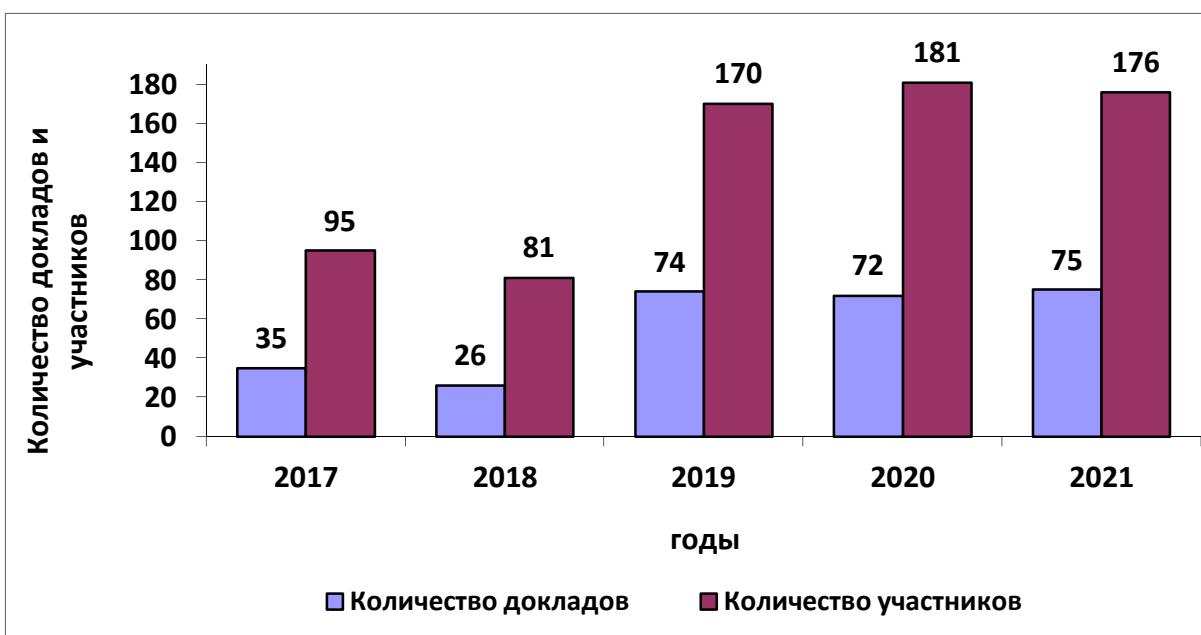
6. Компьютерные обучающие системы.

7. Инфокоммуникационные системы и сети.

8. Прикладная математика.

9. Образовательные и профессиональные стандарты в ИТ-сфере.

Число докладов и участников демонстрирует рисунок, из анализа которого следует, что заинтересованность будущих молодых ИТ-специалистов в области развития ИТ-технологий явно растет.



**Рис.** Количество докладов и зарегистрированных участников

**Fig.** Number of reports and registered participants

Наибольший интерес к участию в конференции проявили студенты бакалавриата и магистратуры, что составило 73 % от общего числа участников, что свидетельствует об активном включении студентов в научно-исследовательскую деятельность. Из общего числа студентов 65 % за весь период обучения принимали участие в научно-практических конференциях хотя бы один раз.

Особенность конференции, проведенной в 2021 г., состояла в том, что из-за пандемии Covid-19 в рамках работы секций было предложено две модели участия в деловой программе – офлайн и онлайн. Поэтому она проходила в смешанном формате, что позволило обеспечить количество участников на уровне предыдущего года и расширить географию участников. Оргкомитет получил доклады из университетов Волгограда, Воронежа, Орла, Москвы, Ульяновска, и в формате онлайн были реализованы 38 % докладов, но качество от конференции от этого не пострадало.

Для онлайн-формата проведения мероприятия использовалась площадка «Точка кипения». Ресурсы этой площадки обеспечили эффективные коммуникации между участниками. Регистрация участников конференции и дальнейшее их взаимодействие осуществлялись при поддержке платформы Leader-ID.

Огромное значение проведенной конференции заключено в ее междисциплинарности, в возможности сравнить и осмыслить подходы различных научных

групп и школ из различных университетов к решению задач IT-сфера.

В целом уровень докладов, представленных на конференции в 2021 г. «Программная инженерия: современные тенденции развития и применения. ПИ-21», был достаточно высокий, а тематика – разнообразной. В каждой секции программный комитет выделил лучшие доклады, а их авторы были удостоены дипломов. По мнению организаторов и участников конференции, представленные доклады вызвали большой интерес благодаря научной новизне и практической значимости. Доклады, представленные на конференции, прошедшие экспертную оценку, опубликованы в сборнике материалов V Всероссийской научно-практической конференции «Программная инженерия: Современные тенденции развития и применения (ПИ-21)», индексируемом в РИНЦ.

Квалифицированная организация мероприятия, большое количество участников, широкая тематика и актуальность докладов, активность обсуждения тем позволили участникам выработать общие позиции по ключевым вопросам развития IT-технологий. Кроме того, многие отметили, что регулярное ежегодное проведение конференции имеет большое значение для процесса подготовки современных IT-специалистов.

## Выходы

Проведенное исследование продемонстрировало, что профилирующая кафедра университета может реализовать научную конференцию как педагогическую технологию, позволяющую активизировать научную, образовательную и инновационную деятельность преподавателей, сотрудников, студентов и аспирантов и тем самым улучшить подготовку IT-специалистов в соответствии с запросом современного рынка труда.

Научно-практические конференции являются неотъемлемой частью процесса формирования нового знания. Организация конференции любого ранга, процесс подготовки студентов и проведения конференций традиционно представлена как пошаговый процесс, включающий в себя несколько обязательных этапов (подготовительный, основной и заключительный) и может рассматриваться как педагогическая технология. В интеграции с традиционными педагогическими технологиями обучения они должны быть неотъемлемой частью образовательной деятельности вузов для подготовки IT-специалистов высокого уровня.

Увеличение числа студентов среди участников конференций свидетельствует о проявлении с их стороны интереса к научной деятельности, к возможности получения новых знаний в контексте будущей профессиональной деятельности и глубоким знакомствам с предметным содержанием выбранного образовательного направления. Необходимо на начальных этапах обучения мотивировать студентов на участие в научных исследованиях, к участию в конференциях, проводимых университетом.

Площадка «Точка кипения», созданная в университете, представляет собой пространство для коллективной работы, позволяющее строить и развивать эффективную коммуникацию между участниками конференций. Она должна интенсивно использоваться для развития межрегионального научного сотрудничества и обмена опытом в области образования IT-специалистов, фундаментальных научных проблем и практических успехов в области программной инженерии, создания условий российским ученым, преподавателям, аспирантам и студентам вузов для обмена результатами исследований.

## Список литературы

1. Как изменится федеральный проект «Кадры для цифровой экономики» с 2021 года. URL: <http://news.nti2035.ru/talents/1847-kak-izmenitsya-federalnyj-proekt-kadry-dlya-czifrovoj-ekonomiki-s-2021-goda/> (дата обращения: 26.09.2021).

2. Леонов Г. А., Немешев М. Х. О реализации стратегии Президента РФ в подготовке ИТ-специалистов мирового уровня // Дифференциальные уравнения и процессы управления. 2018. № 1. С. 126-141.
3. Гаврилов А. В., Куликова С. В., Голкина Г. Е. Повышение уровня подготовки ИТ-специалистов на основе анализа требований рынка труда // Открытое образование. 2019. Т. 23, № 6. С. 30-40.
4. Томаков М. В., Томаков В. И., Брежнев А. В. Применение интерактивных технологий как фактор повышения эффективности учебного процесса // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Лингвистика и педагогика. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 110-123.
5. Чертова М. Н., Василекина О. М. Современные образовательные технологии в подготовке ИТ-специалистов // Экономика и предпринимательство. 2020. № 3 (116). С. 878-885.
6. Бужинская Н. В. Игровые методы в подготовке ИТ-специалистов // Наука и перспективы. 2018. № 1. С. 8-14.
7. Скибицкий Э. Г. Информационные технологии в подготовке ИТ-специалистов в образовательной организации // Вестник Хакасского государственного университета имени Н. Ф. Катанова. 2017. № 20. С. 132-134.
8. Власов Д. А., Синчуков А. В. Модернизация методических систем преподавания математических дисциплин на основе GEOGEBRA // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2020. Т. 16, № 1. С. 187-197.
9. Абрамова И. В., Рихтер Т. В. Методы формирования профессиональных компетенций у будущих программистов // Карельский научный журнал. 2021. Т. 10, № 1 (34). С. 5-8.
10. Привалов А. Н., Богатырева Ю. И., Романов В. А. Инжиринговый центр как инновационный компонент профессиональной подготовки бакалавров ИТ-направлений // Образование и наука. 2019. Т. 21, № 7. С. 90-112.
11. Партнерство работодателей и вуза при подготовке ИТ-специалистов / А. В. Логинова, Э. К. Алгазинов, В. В. Гаршина, А. В. Сычев, Е. Н. Десятирикова, А. В. Смольянинов // Планирование и обеспечение подготовки кадров для промышленно-экономического комплекса региона. 2017. Т. 1. С. 96-99.
12. Томакова Р. А., Томакова И. А., Брежнева А. Н. Интегративный образовательный процесс как фактор повышения качества образования в университете // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Лингвистика и педагогика. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 142-155.
13. Студенческие научные конференции как метод познавательной деятельности студентов / Н. А. Сунцова, И. И. Окулова, О. Б. Жданова, О. В. Часовских, Л. К. Ковалева, Л. Р. Мутошвили // Научное обозрение. Педагогические науки. 2018. № 4. С. 41-46.

14. Черняева Г. В. Участие в научных конференциях как форма профессионального саморазвития студентов // Личность в культуре и образовании: психологическое сопровождение, развитие, социализация: материалы Всероссийской научно-практической конференции / Южный федеральный университет. Ростов н/Д, 2017. С. 195-201.
15. Васильев В. В., Стогов А. В. Участие в конференциях как метод личного и профессионального развития будущего специалиста инженерного профиля // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2019. Т. 1. С. 548-549.
16. Кригер Г. С., Ахметзянова Р. Р., Ринская Н. В. Проведение студенческих конференций как одно из необходимых условий профессионального развития // История и педагогика естествознания. 2015. № 4. С. 27-30.
17. Яновская Г. С. Организация студенческих конференций как способ повышения заинтересованности студентов при изучении иностранного языка в неязыковом вузе // Проблемы современного педагогического образования. 2019. № 64-3. С. 280-283.
18. Студенческие конференции как пространство профессионализации и развития исследовательских компетенций бакалавров социальных наук / Н. И. Бобылёва, Л. С. Малик, А. Б. Федулова, Н. В. Цихончик // Инновации в образовании. 2019. № 3. С. 5-13.
19. Цибизова Т. Ю., Комкова Т. Ю. Научно-практические конференции как способ повышения качества подготовки инженеров // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 9. С. 156-160.

### References

1. Kak izmenitsya federal'nyj proekt "Kadry dlya cifrovoj ekonomiki" s 2021 goda [How the federal project "Personnel for the Digital Economy" will change from 2021]. Available at: <http://news.nti2035.ru/talents/1847-kak-izmenitsya-federalnyj-proekt-kadry-dlya-cifrovoj-ekonomiki-s-2021-goda/>. (accessed 26.09.2021)
2. Leonov G. A., Nemeshev M. H. O realizacii strategii Prezidenta RF v podgotovke IT-specialistov mirovogo urovnya [On the implementation of the strategy of the President of the Russian Federation in the training of world-class IT specialists]. *Differencial'nye uravneniya i processy upravleniya = Differential Equations and Control Processes*, 2018, no. 1, pp. 126-141.
3. Gavrilov A. V., Kulikova S. V., Golkina G. E. Povyshenie urovnya podgotovki IT-specialistov na osnove analiza trebovaniij rynka truda [Improving the level of training of IT specialists based on the analysis of labor market requirements]. *Otkrytoe obrazovanie = Open Education*, 2019, vol. 23, no. 6. pp. 30-40.
4. Tomakov M. V., Tomakov V. I., Brezhnev A.V. Primenenie interaktivnyh tekhnologij kak faktor povysheniya effektivnosti uchebnogo processa [The use of interactive technologies

as a factor in improving the effectiveness of the educational process]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Lingvistika i pedagogika = Proceedings of the Southwest State University. Series: Linguistics and Pedagogics*, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 110-123.

5. Chertova M. N., Vasilekina O. M. Sovremennye obrazovatel'nye tekhnologii v podgotovke IT specialistov [Modern educational technologies in the training of IT specialists]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Economics and Entrepreneurship*, 2020, no. 3 (116), pp. 878-885.

6. Buzhinskaya N. V. Igrovye metody v podgotovke IT-specialistov [Game methods in the training of IT specialists]. *Nauka i perspektivy = Science and Prospects*, 2018, no. 1, pp. 8-14.

7. Skibickij E. G. Informacionnye tekhnologii v podgotovke IT specialistov v obrazovatel'noj organizacii [Information technologies in the training of IT specialists in an educational organization]. *Vestnik Hakasskogo gosudarstvennogo universiteta imeni N. F. Katanova = Bulletin of the Khakass State University named after N. F. Katanov*, 2017, no. 20, pp. 132-134.

8. Vlasov D. A., Sinchukov A. V. Modernizaciya metodicheskikh sistem prepodavaniya matematicheskikh disciplin na osnove GEOGEBRA [Modernization of methodological systems for teaching mathematical disciplines based on GEOGEBRA]. *Sovremennye informacionnye tekhnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT Education*, 2020, vol. 16, no. 1. pp. 187-197.

9. Abramova I. V., Rihter T. V. Metody formirovaniya professional'nyh kompetencij u budushchih programmistov [Methods of forming professional competencies in future programmers]. *Karel'skij nauchnyj zhurnal = Karelian Scientific Journal*, 2021, vol. 10, no. 1 (34), pp. 5-8.

10. Privalov A. N., Bogatyreva Yu. I., Romanov V. A. Inzhiringovyj centr kak innovacionnyj komponent professional'noj podgotovki bakalavrov IT-napravlenij [The Engineering center as an innovative component of professional training of bachelors of IT-directions]. *Obrazovanie i nauka = Education and Science*, 2019, vol. 21, no. 7, pp. 90-112.

11. Loginova A. V., Algazinov E. K., Garshina V. V., Sychev A. V., Desyatirikova E. N., Smol'yaninov A. V. Partnerstvo rabotodatelej i vuza pri podgotovke IT-specialistov [Partnership of employers and universities in the training of IT specialists]. *Planirovanie i obespechenie podgotovki kadrov dlya promyshlennno-ekonomiceskogo kompleksa regiona = Planning and Providing Training for the Industrial and Economic Complex of the Region*, 2017, vol. 1, pp. 96-99.

12. Tomakova R. A., Tomakova I. A., Brezhneva A. N. Integrativnyj obrazovatel'nyj process kak faktor povysheniya kachestva obrazovaniya v universitete [Integrative educational

process as a factor of improving the quality of education at the University]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Lingvistika i pedagogika = Proceedings of the Southwest State University. Series: Linguistics and Pedagogics*, 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 142-155.

13. Suncova N. A., Okulova I. I., Zhdanova O. B., Chasovskih O. V., Kovaleva L. K., Mutoshvili L. R. Studencheskie nauchnye konferencii kak metod poznavatel'noj deyatel'nosti studentov [Student scientific conferences as a method of cognitive activity of students]. *Nauchnoe obozrenie. Pedagogicheskie nauki = Scientific Review. Pedagogical Sciences*, 2018, no. 4, pp. 41-46.

14. Chernyaeva G. V. [Participation in scientific conferences as a form of professional self-development of students]. *Lichnost' v kul'ture i obrazovanii: psihologicheskoe so-provozhdenie, razvitiye, socializaciya. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Personality in culture and education: psychological support, development, socialization: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Rostov-on-don, Southern Federal University Publ. 2017, pp. 195-201. (In Russ.)

15. Vasil'ev V. V., Stogov A. V. Uchastie v konferenciay kak metod lichnogo i profesional'nogo razvitiya budushchego specialista inzhernogo profilya [Participation in conferences as a method of personal and professional development of a future mechanical engineering specialist]. *Sovremennoe obrazovanie: soderzhanie, tekhnologii, kachestvo = Modern Education: Content, Technology, Quality*, 2019, vol. 1, pp. 548-549.

16. Kriger G. S., Ahmetzyanova R. R., Rinskaya N. V. Provedenie studencheskih konferencij kak odno iz neobhodimyh uslovij professional'nogo razvitiya [Conducting student conferences as one of the necessary conditions for professional development]. *Istoriya i pedagogika estestvoznaniya = History and Pedagogy of Natural Science*, 2015, no. 4, pp. 27-30.

17. Yanovskaya G. S. Organizaciya studencheskih konferencij kak sposob povysheniya zainteresovannosti studentov pri izuchenii inostrannogo yazyka v neyazykovom vuze [Organizing student conferences as a way to increase student's interest in learning a foreign language at a non-linguistic university]. *Problemy sovremennoogo pedagogicheskogo obrazovaniya = Problems of Modern Pedagogical Education*, 2019, no. 64-3, pp. 280-283.

18. Boblyova N. I., Malik L. S., Fedulova A. B., Cihonchik N. V. Studencheskie konferencii kak prostranstvo professionalizacii i razvitiya issledovatel'skikh kompetencij bakalavrov social'nyh nauk [Student conferences as a space for professionalization and development of research competencies of bachelors of Social Sciences]. *Innovacii v obrazovanii = Innovations in Education*, 2019, no. 3, pp. 5-13.

19. Cibizova T. Yu., Komkova T. Yu. Nauchno-prakticheskie konferencii kak sposob povysheniya kachestva podgotovki inzhenerov [Scientific and practical conferences as a way

to improve the quality of training of engineers]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii = Modern High-Tech Technologies*, 2017, no. 9, pp. 156-160.

---

## Информация об авторах / Information about the Authors

**Томакова Римма Александровна**, доктор технических наук, профессор кафедры программной инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: rtomakova@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0152-4714, Researcher ID WoS: O-6164-2015, Author ID: 739221

**Томаков Владимир Иванович**, доктор педагогических наук, профессор кафедры охраны труда и окружающей среды, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: tomakov52@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1051-9722, Scopus Author ID: 57195919702, Author ID: 509007

**Брежнев Алексей Викторович**, кандидат технических наук, доцент, Российской экономический университет имени Г. В. Плеханова, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: brezhnev.av@rea.ru, ORCID: 0000-0002-3679-7379

**Rimma A. Tomakova**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of the Department of Software Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: rtomakova@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0152-4714, Researcher ID WoS: O-6164-2015, Author ID: 739221

**Vladimir I. Tomakov**, Dr. of Sci. (Pedagogical), Professor of the Department of Labor Protection and Environment, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: tomakov52@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1051-9722, Scopus Author ID: 57195919702, Author ID: 509007

**Alexey V. Brezhnev**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russian Federation, e-mail: brezhnev.av@rea.ru, ORCID: 0000-0002-3679-7379

---

# МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕДИЦИНСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

---

## MODELING IN MEDICAL AND TECHNICAL SYSTEMS

---

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-146-162>



### Количественная оценка защитных механизмов организма по его оксидантному статусу

Н. А. Кореневский<sup>1</sup>✉, С. Н. Родионов<sup>1</sup>, Е. В. Крикунова<sup>1</sup>, Л. В. Стародубцева<sup>1</sup>,  
М. В. Скиданчук<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

#### Резюме

**Целью исследования** является повышение качества прогнозирования и диагностики заболеваний, вызываемых действием внешних патогенных факторов за счет использования оценочных характеристик уровня защиты организма.

**Методы.** Известно, что защитная система организма имеет сверхсложную достаточно плохо изученную структуру динамического типа, что не позволяет получить надежные модели количественной оценки уровня защиты организма с последующим выбором адекватных схем профилактики и лечения. В данной работе исследуются вопросы использования показателей, характеризующих оксидантный статус организма для количественной оценки уровня защиты организма от воздействия множества экзогенных факторов. В качестве базового математического аппарата используется методология синтеза гибридных нечетких решающих правил.

**Результаты.** В работе показано, что для количественной оценки уровня защиты организма от внешних факторов риска можно использовать показатели перокисного окисления липидов и антиоксидантной активности. Для этих показателей получены функции уровня защиты и обобщенный показатель уровня защиты организма в виде нечеткого решающего правила. Показан механизм встраивания этого показателя в прогностические и диагностические решающие правила. В результате экспериментального оценивания и математического моделирования было установлено, что качество принятия решений с использованием предложенных моделей увеличивается на 10–20% в зависимости от типа решаемых задач и по сравнению с моделями, не использующими показатели уровня защиты организма.

**Заключение.** В ходе проведенных исследований было выявлено, что для улучшения качества прогнозирования и диагностики заболеваний, вызываемых действием внешних патогенных факторов, могут быть использованы количественные оценки уровня защиты организма, определяемые по его оксидантному статусу. Установлено, что качество принятия решений с использованием предложенных моделей увеличивается на 10–20% в зависимости от типа решаемых задач и по сравнению с моделями, не использующими показатели уровня защиты организма.

---

© Кореневский Н. А., Родионов С. Н., Крикунова Е. В., Стародубцева Л. В., Скиданчук М. В., 2021

---

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление,  
вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021; 11(4): 146-162

**Ключевые слова:** оксидантный статус; перекисное окисление липидов; антиоксидантная активность; функции уровня защиты; уровень защиты организма; нечеткие решающие правила.

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

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках проекта по реализации внутриуниверситетского гранта по программе развития ЮЗГУ (ПРИОРИТЕТ-2030) ПР2030/2021-22.

**Для цитирования:** Количественная оценка защитных механизмов организма по его оксидантному статусу / Н. А. Кореневский, С. Н. Родионов, Е. В. Крикунова, Л. В. Стародубцева, М. В. Скиданчук // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 146–162. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-146-162>

Поступила в редакцию 21.10.2021

Подписана в печать 18.11.2021

Опубликована 20.12.2021

## Quantitative Assessment of the Body's Defense Mechanisms by its Oxidative Status

Nikolay A. Korenevsky<sup>1</sup>✉, Sofya N. Rodionova<sup>1</sup>, Evgeniya V. Krikunova<sup>1</sup>,  
Lilia V. Starodubtseva<sup>1</sup>, Maria V. Skidanchuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

### Abstract

**The purpose of research** is to improve the quality of predicting and diagnosing diseases caused by the action of external pathogenic factors through the use of the estimated characteristics of the level of the body's defense.

**Methods.** It is known that the body's defense system has a highly complex, rather poorly studied, structure of a dynamic type, which does not allow obtaining reliable models for a quantitative assessment of the body's defense level with the subsequent selection of adequate preventive and therapeutic regimens. This work examines the issues of using indicators characterizing the oxidative status of an organism for a quantitative assessment of the level of the body's defense against the effects of many exogenous factors. The methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules is used as a basic mathematical apparatus.

**Results.** It is shown in the work that the indicators of lipid peroxidation and antioxidant activity can be used to quantitatively assess the level of the body's defense against external risk factors. For these indicators, functions of the level of protection and a generalized indicator of the level of protection of the body in the form of a fuzzy decision rule were obtained. The mechanism of embedding this indicator into prognostic and diagnostic decision rules is shown. As a result of expert assessment and mathematical modeling, it was found that the quality of decision making using the proposed models increases by 10 - 20%, depending on the type of problems being solved, compared to models that do not take into account the level of body defense.

**Conclusion.** In the course of the studies carried out, it was revealed that to improve the quality of predicting and diagnosing diseases caused by the action of external pathogenic factors, quantitative assessments of the level of the body's defense, determined by its oxidative status, can be used. It was found that the quality of decision-making using

*the proposed models increases by 10 - 20% depending on the type of tasks being solved in comparison with models that do not use indicators of the level of the body's defense.*

**Keywords:** oxidative status; lipid peroxidation; antioxidant activity; protection level functions; the level of protection of the body; fuzzy decision rules.

**Conflict of interest:** The Authors declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Financing:** The work was carried out within the framework of the project for the implementation of an intra-university grant under the Southwest State University Development Program (PRIORITY-2030) PR2030/2021-22.

**For citation:** Korenevsky N. A., Rodionova S. N., Krikunova E. V., Starodubtseva L. V., Skidanchuk M. V. Quantitative Assessment of the Body's Defense Mechanisms by its Oxidative Status. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2021; 11(4): 146–162. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-146-162>

Received 21.10.2021

Accepted 18.11.2021

Published 20.12.2021

## Введение

Выживаемость и состояние здоровья человека обеспечивается его защитной системой. Современной медицинской науке известно множество механизмов защиты от разнообразных живых (бактерий, вирусов, грибков и др.) и неживых (токсины, химикалии, техногенная и природная нагрузка и т. д.). Защита организма обеспечивается двумя системами – неспецифической (сопротивляемость организма) и специфической (иммунная система) [1; 2].

Неспецифическая система защиты (НСЗ) содержит две линии защиты. **Первая линия НСЗ** представляет собой поверхностный анатомический барьер (эпителий кожи и слизистые оболочки), разделяющий внутреннюю и внешнюю среды, не позволяя патогенам попадать во внутреннюю среду организма. **Вторая линия НСЗ** осуществляет борьбу с

патогенами, преодолевшими первую линию поверхностного барьера. Эта линия НСЗ состоит из клеточных и гуморальных неспецифических факторов и содержит: фагоцитирующие клетки; комплемент; интерфероны; естественные антитела (антитела независимые) и естественные киллеры и некоторые другие вещества. Эти две линии защиты определяют врождённые, конституциональные факторы.

Специфическая система защиты (ССЗ) осуществляется иммунной системой (ИС) организма. Роль ИС состоит в защите организма от вирусных и микробных инфекций, обеспечивая две формы иммунитета – специфическую и неспецифическую. *Специфический иммунный ответ* защищает организм от конкретного возбудителя и вступает в действие тогда, когда *неспецифическая защита организма* исчерпывает свои возможности. К основным понятиям и

компонентам иммунной защиты относятся иммунитет, антигены (Аг), антитела (АТ), иммунокомпетентные клетки, главный комплекс гистосовместимости, цитокины и органы лимфоидной системы [1; 2].

Таким образом, защитная система организма имеет сверхсложную достаточно плохо изученную структуру нестационарного, динамического типа, что не позволяет получить надежные модели количественной оценки уровня защиты организма (УЗО) от различных типов факторов риска с последующим выбором оптимальных условий жизнедеятельности, включая адекватные, возникающим событиям, схемы профилактики и лечения. На современном этапе развития науки удается получить лишь частные модели и рекомендации по оценке индивидуальной защиты организма от очень ограниченного и достаточно простого набора факторов риска. Например, в работах [3; 4; 5] показывается, что для количественной оценки УЗО могут быть использованы адаптационный потенциал (АП), рассчитываемый по индексу функциональных изменений (ИФИ), и энергетические характеристики биологически активных точек (ЭХБАТ), «связанных» с общесистемной реакцией организма.

Использование показателей АП, ИФИ и ЭХБАТ для оценки УЗО характерно для такой науки, как адаптология [1]. Эффективность их использования доказана на ряде задач оценки влияния

на организм человека таких внешних факторов, как производственная среда и экологическая нагрузка. Причем они отражают общесистемную реакцию организма, фиксируя в основном непосредственную близость к границе «слома» организма и сам «слом». К более «тонким» реакциям организма на начинающиеся негативные процессы они практически не чувствительны, что делает их малоинформативными для решения задач прогнозирования и недостаточно информативными для решения задач ранней диагностики для широкого круга социально значимых заболеваний.

Для повышения точности оценки защитных механизмов организма в работах [4; 6] дополнительно к показателям АП и ЭХБАТ предлагается использовать ряд иммunoлогических лабораторных показателей в составе: иммунорегуляторный коэффициент CD4+/CD8+ (индекс); CD4+25+ Т-лимфоциты, экспрессирующие рецепторы к IL2 (процент от CD4+ Т-клеток); активированные NK-клетки (экспрессирующие HLA-DR-молекулы) (процент от NK-клеток); фенотип NK-клеток CD3-16+56- (высокая) (процент). В работе [4] было показано, что включение иммunoлогических показателей в модель количественной оценки уровня защиты организма позволяет увеличить качество прогнозирования рецидивов генитального герпеса на 5-10%. Анализ литературных источников показал, что для других заболеваний эта группа показателей как индикатор

уровня защиты организма не исследовалась. Кроме того, ряд исследователей сообщает о достаточно низкой чувствительности и специфичности иммунологических исследований при диагностике сложных системных заболеваний и заболеваний вызываемых неспецифическими микроорганизмами. Это делает актуальной проблему поиска других индикаторов уровня защиты организма от воздействия как эндогенных, так и экзогенных факторов риска.

### **Материалы и методы**

В данной работе исследуются вопросы использования показателей, характеризующих оксидантный статус организма для количественной оценки уровня защиты организма от множественных экзогенных (внешних) факторов.

Общим свойством внешних воздействий на организм человека являются: изменение метаболизма клеток; активация генетического аппарата; изменение режимов функционирования подавляющего большинства систем организма. Эти изменения приводят к формированию защитных эффектов адаптации [1].

Известно, что любые достаточно сильные воздействия окружающей среды приводят к формированию стандартной стресс-реакции. Кратковременные стрессы небольшой интенсивности приводят к усилиению функционирования органов и систем организма и его мобилизации. Интенсивные и (или) дли-

тельные стресс-реакции приводят к активации процессов свободно-радикального окисления в клетках, внутриклеточной кальциевой перегрузке, угнетению энергопродукции, снижению синтеза белка и денатурации белковых структур, что вызывает повреждение тканей и органов, превращая стресс-реакции из звеньев адаптации в звенья патогенеза.

В ходе быстрой реакции на стресс происходит активация перекисного окисления липидов (ПОЛ). Причем в нормальных условиях работы клеток определенный (номинальный) уровень ПОЛ участвует в обеспечении защитных функций, например в детоксикации чужеродных соединений, обладает микробиоцидными свойствами, влияет на иммунитет и т. д.

В нормально функционирующей клетке ПОЛ поддерживается на постоянном уровне многоуровневой антиоксидантной системой защиты. Сбалансированность между перекисным окислением, с одной стороны, и антиоксидантной активностью – с другой, обеспечивает поддержание нормальной жизнедеятельности клетки. Если концентрация ПОЛ не компенсируется со стороны антиоксидантной защитной системы (АОЗС), то это приводит к структурным и функциональным повреждениям биологических мембран [7; 8; 9; 10; 11; 12].

Описанный механизм реакции системы антиоксидантной защиты организма позволяет сделать вывод о том,

что исследование показателей, характеризующих процессы ПОЛ и антиоксидантной активности, может служить индивидуальной мерой реакции организма человека на внешнюю нагрузку с возможностью оценки его защитных «сил» с последующим построением моделей прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, вызываемых действием неблагоприятных внешних факторов риска.

Количественно ПОЛ характеризуется концентрацией различных веществ, участвующих в этом процессе. На практике чаще всего исследуют концентрацию малонового диальдегида (МДА) как одного из конечных продуктов свободнорадикального окисления (СРО), характеризующего интенсивность этого процесса. Измерения проводят с использованием спектрофотометров на длине волны 532 нм.

По современным представлениям АОЗС представляет собой единую многоуровневую, многофакторную систему, обеспечивающую регуляцию свободнорадикальных процессов путем формирования разнообразных факторов и барьеров, ограничивающих действие свободных радикалов.

Первый барьер АОЗС состоит из смеси трахеобронхиальной слизи, гликопротеидов и сахара, которая инактивирует пероксид водорода и гидроксильный радикал.

Второй барьер состоит из сурфактана, содержащего антиоксиданты (супероксиддисмутаза – СОД, глутатионпероксидаза, глутатионредуктаза).

Третий барьер состоит из антиоксидантов, которые делят на 3 группы: ферменты, обладающие антиоксидантным действием; антиоксиданты неферментативного действия; синергисты, которые потенцируют действие других антиоксидантов.

Для количественной оценки эффективности работы этой сложнейшей антиоксидантной защитной системы используют интегральный показатель антиоксидантной активности (АОА), определяемый по методу хемилюминесценции.

## Результаты и их обсуждение

В работах, проводимых на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета по изучению роли ПОЛ и АОА в патогенезе воспалительных, сердечно-сосудистых и экологически-обусловленных заболеваний, было показано, что для решения задач синтеза прогностических и диагностических решающих правил с использованием показателей ПОЛ и АОА удобно использовать относительные показатели типа [7; 8; 11; 13]:

$$\delta x_{\Pi} = \frac{x_{\Pi}^T - x_{\Pi}^H}{x_{\Pi}^H} 100%;$$

$$\delta x_A = \frac{x_A^H - x_A^T}{x_A^H} 100%, \quad (1)$$

где  $x_{\Pi}^H$  и  $x_A^H$  – ПОЛ и АОА, измеренное на репрезентативной группе здоровых людей;  $x_{\Pi}^T$  и  $x_A^T$  – ПОЛ и АОА у обследуемого пациента.

Применительно к задаче оценки влияния внешних факторов на организм человека показатели  $\delta x_{\Pi}$  и  $\delta x_A$  изменяются следующим образом. При комфортной внешней нагрузке значения  $\delta x_{\Pi}$  и  $\delta x_A$  находятся в достаточно узком коридоре нормы (близко к нулевым значениям). Если  $\delta x_{\Pi}$  выходит за пределы коридора нормы, но при этом наблюдается рост  $\delta x_A$  такой, что  $\delta x_A - \delta x_{\Pi} > 0$ , то внутренние ресурсы организма справляются с внешней нагрузкой и по крайней мере со стороны внешних факторов угроза здоровью отсутствует. Если значение  $\delta x_{\Pi}$  за пределами коридора нормы достигает значения  $\delta x_A$  и начинает «незначительно» превышать его с определяемой экспертами уверенностью, то можно говорить о прогнозе возникновения заболеваний, вызываемых воздействием внешних факторов риска. Рост превышения  $\delta x_{\Pi}$  над  $\delta x_A$  за пределами коридора нормы увеличивает уверенность в наличии ранних стадий заболеваний, обусловленных внешними факторами при отсутствии их клинических

проявлений. Такая логика «работы» формул (1) позволяет их использовать при синтезе соответствующих гибридных нечетких решающих правил для решения задач прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, вызываемых воздействием внешних гетерогенных факторов риска<sup>1</sup> используя рекомендации работ [14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24].

Анализ литературных данных и собственные исследования позволили сделать вывод о том, что при решении задач классификации по конкретным медицинским задачам с использованием показателей ПОЛ и АОА обеспечивается высокая диагностическая чувствительность, но они обладают низкими показателями диагностической специфичности и эффективности. Это связано, прежде всего, с тем, что показатели ПОЛ и АОА «реагируют» на появление и развитие патологии в различных органах и системах, поэтому с их помощью с высокой чувствительностью определяются «зарождение» и развитие патологического процесса, но достаточно сложно точно определить «адрес поражения». С учетом этого по показателям ПОЛ и АОА можно достаточно надежно судить об уровне защиты организма в целом, но сложно судить об уровне защиты отдельных систем, а тем более органов организма.

<sup>1</sup> Воробьева О. М. Разработка математических моделей прогнозирования и профилактики рецидивов инфаркта миокарда в

реабилитационном периоде: дис. ... канд. мед. наук. Курск, 2013. 164 с.

Для оценки уровня защиты для целостного организма введем понятия функций уровня защиты:

$f_z(\delta x_A)$  – функция, характеризующая уровень защиты по показателю АОА;  $f_z(\delta x_{II})$  – по показателю ПОЛ;

$f_z(Z)$  – функция, характеризующая уровень защиты по разностному показателю  $Z = \delta x_{II} - \delta x_A$ .

При отсутствии строгой теоретической основы и невозможности получения надежных статистических оценок задачу построения функций уровня защиты решают эксперты, прошедшие подготовку по синтезу гибридных нечетких решающих правил с использованием метода Дельфы. Для построения

графика функции уровня защиты по показателю ПОЛ<sup>1</sup> экспертам было предложено ответить на следующие вопросы [7]:

Z1 (по шкале от 0 до единицы) – определите, насколько вы доверяете признаку  $\delta x_{II}$  как индикатору уровня защиты организма.

Z2 (на шкале  $\delta x_{II}$ ) – укажите, при каком отклонении от номинального значения достигается максимальный уровень защиты.

Z3 – при каком отклонении  $\delta x_{II}$  следует считать, что уровень защиты станет минимальным.

Результаты опроса экспертов сведены в таблицу.

**Таблица.** Результаты опроса экспертов с целью получения опорных точек для построения графика  $f_z(x_A)$

**Table.** The results of a survey of experts in order to obtain reference points for plotting  $f_z(x_A)$

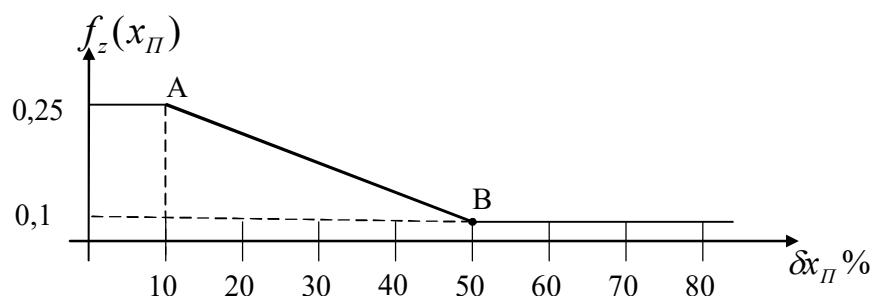
Вопрос	Эксперты								Среднее значение
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Z1	0,3	0,2	0,25	0,2	0,3	0,2	0,3	0,25	0,25
Z2	15	5	10	10	10	5	10	15	10
Z3	60	40	55	45	40	50	50	60	50

Среднее значение результатов ответов на вопросы Z1 и Z2 позволяют установить координаты точки А для графика, приведенного на рисунке 1, а среднее значение результатов ответов на вопрос Z3 характеризуют координаты

точки В. На вопрос, какой формы должен быть график, приведенный на рисунке 1: линейной, квадратичной, другой, все эксперты, кроме одного (ответ «затрудняюсь»), дали ответ «линейной».

<sup>1</sup> Воробьева О. М. Разработка математических моделей прогнозирования и профил-

актики рецидивов инфаркта миокарда в реабилитационном периоде: дис. ... канд. мед. наук. Курск, 2013. 164 с.



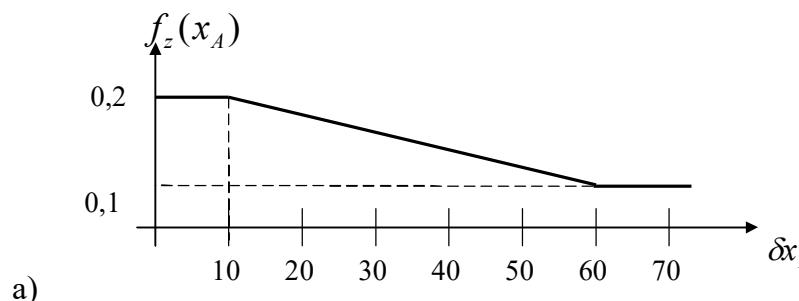
**Рис. 1.** График функции уровня защиты по показателю ПОЛ

**Fig. 1.** Graph of the protection level function by GENDER indicator

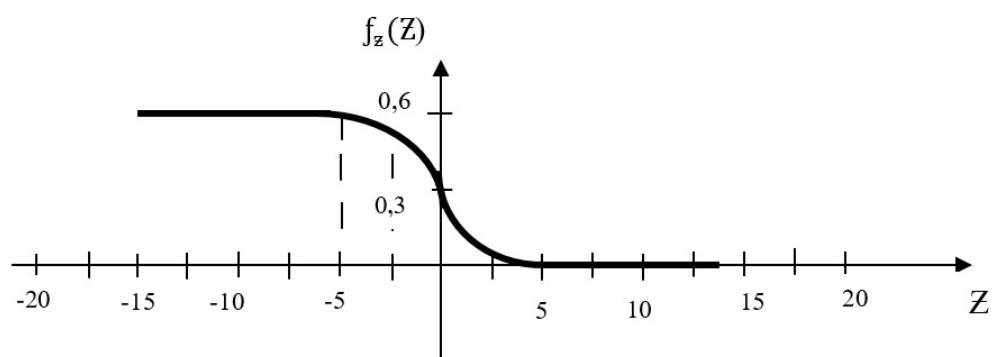
Минимальное значение функции уровня защиты, определенное экспертами как 0,1, соответствует их мнению о том, что нарушение в механизме

формирования ПОЛ не означает потерю защитных свойств организма в целом.

Аналогично были построены графики функций уровня защиты по показателям АОА и Z (рис. 2).



a)



б)

**Рис. 2.** Графики функций уровня защиты: а – по показателю АОА; б – по показателю Z

**Fig. 2.** Graphs protection level functions: a – according to the AOA indicator; б – by the Z indicator

В соответствии с рекомендациями [5; 6; 17; 18] общий уровень защиты от

внешних факторов риска по оксидантному статусу организма UZO определяется выражением

$$\begin{aligned} UZO = & f_z(x_{II}) + f_z(x_A) + f_z(Z) - \\ & - f_z(x_{II}) \cdot f_z(x_A) - f_z(x_{II}) \cdot f_z(Z) - \\ & - f_z(x_A) \cdot f_z(Z) + f_z(x_{II}) \cdot f_z(x_A) \cdot f_z(Z). \end{aligned} \quad (2)$$

Для «встраивания» показателя UZO в прогностические и диагностические модели можно использовать гибридные модели вида [5]:

$$\begin{aligned} UPR_\ell = & \\ = & \begin{cases} UP_\ell - UZO, & \text{если } UP_\ell > UZO; \\ 0, & \text{если } UP_\ell \leq UZO, \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

где  $UP_\ell$  – уверенность в прогностической (диагностической) гипотезе  $\omega$  без учета UZO;  $UPR_\ell$  – с учетом UZO.

В результате экспертного оценивания и математического моделирования было показано, что качество принятия решений с использованием модели (3) увеличивается на 10 – 20% в зависимости от типа решаемых задач и по сравнению с моделями, не использующими показатели уровня защиты организма.

## Выводы

В ходе проводимых исследований решалась задача улучшения показателей

качества прогнозирования и диагностики заболеваний, вызываемых действием внешних патогенных факторов за счет использования показателей уровня защиты организма, определяемых по его оксидантному статусу. Было показано, что для количественной оценки уровня защиты организма от внешних факторов риска можно использовать показатели перекисного окисления липидов и антиоксидантной активности. Для этих показателей получены функции уровня защиты и обобщенный показатель уровня защиты организма в виде нечеткого решающего правила. Установлен механизм встраивания этого показателя в прогностические и диагностические решающие правила. В результате экспертного оценивания и математического моделирования было выявлено, что качество принятия решений с использованием предложенных моделей увеличивается на 10 – 20% в зависимости от типа решаемых задач и по сравнению с моделями, не использующими показатели уровня защиты организма, что позволяет рекомендовать полученные результаты к практическому использованию в системе здравоохранения.

## Список литературы

1. Кузьмина В. Е., Беляков В. И. Основы адаптологии. 2-е изд. Самара: Изд-во «Самарский университет», 2013. 236 с.
2. Совершенствование оценки функциональных резервов организма – приоритетное направление развития донозологической диагностики преморбидных состояний / А. Н. Курзанов, А. Н. Заболотских, Д. В. Ковалев, Д. А. Бузиашвили // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 10-1. С. 67-70.

3. Кореневский Н. А., Крупчанников Р. А., Аль-Касасбех Р. Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 528 с.
4. Использование информационных технологий для прогнозирования и диагностики инфекционных заболеваний (на примере генитального герпеса) / М. И. Лукашов, Н. А. Кореневский, В. И. Серебровский [и др.]. Курск: Издательство Курской государственной сельскохозяйственной академии имени И. И. Иванова, 2011. 123 с.
5. Оценка защитных механизмов организма и их роль в задачах прогнозирования и медицинской диагностики / С. В. Харьков, С. Д. Долженков, С. Н. Кореневская, А. Г. Коцарь // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. Т. 11, № 1. С. 44-49.
6. Оценка и управление состояния здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н. А. Кореневский, А. Н. Шуткин, С. А. Горбатенко, В. И. Серебровский. Старый Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.
7. Воробьева О. М., Мишустин В. Н., Чернова И. В. Синтез решающих правил для прогнозирования инфаркта миокарда по показателям перекислого окисления липидов и антиокислительной активности // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. Т. 2, № 2. С. 249-252.
8. Воробьева О. М., Серегин С. П., Чернова И. В. Математическое прогнозирование инфаркта миокарда и сердечно-сосудистых осложнений у урологических больных // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 2, ч. 3. С. 328-331.
9. Надеев А. Д., Гончаров Н. В. Активные формы кислорода в клетках сердечно-сосудистой системы // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2014. № 4. С. 80-94.
10. Пожилова Е. В., Новиков В. Е., Левченкова О. С. Активные формы кислорода в физиологии и патологии клетки // Вестник Смоленской государственной академии. 2015. Т. 14, № 2. С. 13-21.
11. Синтез комбинированных нечетких решающих правил для прогнозирования послеоперационных осложнений в урологии / С. П. Серегин, С. Д. Долженков, С. Н. Кореневская, Т. Н. Сапитонова // Известия Юго-Западного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2, ч. 3. С. 293-297.
12. Узбеков М. Г. Перекисное окисление липидов и антиоксидантные системы при психических заболеваниях // Социальная и клиническая психиатрия. 2014. Т. 24, № 4. С. 97-103.
13. Математическое моделирование развития инфаркта миокарда и сердечно-сосудистых осложнений на основе нечетких моделей принятия решений / О. М. Воробьева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021; 11(4): 146-162

робьева, И. В. Чернова, М. Н. Цуканова, С. Д. Долженков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. Т. 11, № 1. С. 170-174.

14. Кореневский Н. А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 2. С. 99-103.

15. Кореневский Н. А., Разумова К. В. Синтез нечетких классификационных правил в многомерном пространстве признаков для медицинских приложений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2. С. 223-227.

16. Нечеткие модели оценки уровня эргономики технических систем и ее влияние на состояние здоровья человека оператора с учетом функциональных резервов / Н. А. Кореневский, С. Н. Родионова, Т. Н. Говорухина, М. А. Мясоедова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7, № 1 (24). С. 39–53.

17. Кореневский Н. А., Родионова С. Н., Хрипина И. И. Методология синтеза гибридных нечётких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.

18. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами на основе гетерогенных моделей / Н. А. Кореневский, Н. А. Серебровский, В. И. Коптева, Н. А. Говорухина. Курск: Издательство Курской государственной сельскохозяйственной академии имени И. И. Иванова, 2012. 231 с.

19. Прогнозирование и ранняя диагностика профессиональных заболеваний в электроэнергетике на основе методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил: монография / В. И. Серебровский, М. А. Мясоедова, В. В. Серебровский, Н. А. Кореневский, К. В. Разумова. Курск: Издательство Курской государственной сельскохозяйственной академии имени И. И. Иванова, 2019. 285 с.

20. Использование методологии синтеза коллективов гибридных нечетких моделей для решения задач оценки состояния и управления сложными биотехническими системами / Н. А. Кореневский, Р. В. Степашов, А. Н. Шуткин, Е. В. Цимбыл, С. Н. Родионова, Д. С. Родионов // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2018. Т. 14, № 3. С. 593-600.

21. Method of Ergonomics Assessment of Technical Systems and Its Influence on Operators Heath on Basis of Hybrid Fuzzy Models / R. T. Al-Kasasbeh, N. A. Korenevskiy, M. S. Alshamasin, I. Maksim // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. N 590. P. 581-592.

22. Fuzzy Model Evaluation of Vehicles Ergonomics and Its Influence on Occupational Diseases / R. T. Al-Kasasbeh, N. A. Korenevskiy, M. S. Alshamasin, S. N. Korenevskya, E. T. Al-Kasasbeh, I. Maksim // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. P. 143-154.
23. Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis / N. A. Korenevsky, S. V. Degtyarev, S. P. Seregin, A. V. Novikov // Biomedical Engineering. 2013. Vol. 47, is. 4. P. 169-172.
24. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in MedicalExpert Systems // Biomedical Engineering. 2015. Vol. 49. P. 46-49.

### References

1. Kuzmina V. E., Belyakov V. I. Osnovy adaptologii [Fundamentals of adaptology: a tutorial]. 2<sup>nd</sup> ed. Samara, Publishing House "Samara University ", 2013. 236 p.
2. Kurzanov A. N., Zabolotskikh A. N., Kovalev D. V., Buziashvili D. A. Sovremenstvovanie otsenki funktsional'nykh rezervov organizma – prioritetnoe napravlenie razvitiya donozologicheskoi diagnostiki premorbidnykh sostoyanii [Improving the assessment of the body's functional reserves is a priority direction in the development of prenosological diagnostics of premorbid conditions]. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya = International Journal of Experimental Education*, 2015, no. 10-1, pp. 67-70.
3. Korenevsky N. A., Krupchatnikov R. A., Al-Kasasbeh R. T. Teoreticheskie osnovy biofiziki akupunktury s prilozheniyami v meditsine, psikhologii i ekologii na osnove nechetkikh setevykh modelei [Theoretical foundations of biophysics of acupuncture with applications in medicine, psychology and ecology based on fuzzy network models]. Stary Oskol, TNT Publ., 2013. 528 p.
4. Lukashov M. I., Korenevsky N. A., Serebrovsky V. I., eds. Ispol'zovanie informatsionnykh tekhnologii dlya prognozirovaniya i diagnostiki infektsionnykh zabolеваний (na primere genital'nogo gerpesa) [The use of information technologies for predicting and diagnosing infectious diseases (for example, genital herpes)]. Kursk, Publishing House of the Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanov, 2011. 123 p.
5. Kharkov S. V., Dolzhenkov S. D., Korenevskaya S. N., Kotsar A. G. Otsenka zashchitnykh mekhanizmov organizma i ikh rol' v zadachakh prognozirovaniya i meditsinskoi diagnostiki [Assessment of the protective mechanisms of the body and their role in the tasks of forecasting and medical diagnostics]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System Analysis and Control in Biomedical Systems*, 2012, vol. 11, no. 1, pp. 44-49.
6. Korenevsky N. A., Shutkin A. N., Gorbatenko S. A., Serebrovsky V. I. Otsenka i upravlenie sostoyaniya zdorov'ya obuchayushchikhsya na osnove gibridnykh intellektual'nykh

tekhnologii [Assessment and management of the state of health of students on the basis of hybrid intelligent technologies]. Stary Oskol, TNT Publ., 2016. 472 p.

7. Vorobieva O. M., Mishustin V. N., Chernova I. V. Sintez reshayushchikh pravil dlya prognozirovaniya infarkta miokarda po pokazatelyam perekislogo okisleniya lipidov i anti-okislitel'noi aktivnosti [Synthesis of decision rules for predicting myocardial infarction by indicators of lipid peroxidation and antioxidant activity]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceeding of the Southwest State University*, 2012, no. 2, pt. 2, pp. 249-252.

8. Vorobieva O. M., Seregin S. P., Chernov I. V. Matematicheskoe prognozirovanie infarkta miokarda i serdechno-sosudistykh oslozhnenii u urologicheskikh bol'nykh [Mathematical prediction of myocardial infarction and cardiovascular complications in urological patients]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceeding of the Southwest State University*, 2012, no. 2, pt. 3, pp. 328-331.

9. Nadeev A. D., Goncharov N. V. Aktivnye formy kisloroda v kletkakh serdechno-sosudistoi sistemy [Reactive oxygen species in cardiac cells vascular system]. *Kompleksnye problemy serdechno-sosudistyk zhabolovanii = Complex Problems of Cardiovascular Diseases*, 2014, no. 4, pp. 80-94.

10. Pozhilova E. V., Novikov V. E., Levchenkova O. S. Ktivnye formy kisloroda v fiziologii i patologii kletki [Reactive oxygen species in physiology and cell pathology]. *Vestnik Smolenskoi gosudarstvennoi akademii = Bulletin of the Smolensk State Academy*, 2015, vol. 14, no. 2, pp. 13-21.

11. Seregin S. P., Dolzhenkov S. D., Korenevskaya S. N., Sapitonova T. N. Sintez kombinirovannykh nechetkikh reshayushchikh pravil dlya prognozirovaniya posleoperatsionnykh oslozhnenii v urologii [Synthesis of combined fuzzy decision rules for predicting postoperative complications in urology]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2012, no. 2, pt. 3, pp. 293-297.

12. Uzbekov M. G. Perekisnoe okislenie lipidov i antioksidantnye sistemy pri psikhicheskikh zabolevaniyakh [Lipid peroxidation and antioxidant systems for mental illness]. *Sotsial'naya i klinicheskaya psikiatriya = Social and Clinical Psychiatry*, 2014, vol. 24, no. 4, pp. 97-103.

13. Vorobieva O. M., Chernova I. V., Tsukanova M. N., Dolzhenkov S. D. Matematicheskoe modelirovanie razvitiya infarkta miokarda i serdechno-sosudistyk oslozhnenii na osnove nechetkikh modelei prinyatiya reshenii [Mathematical modeling of the development of

myocardial infarction and cardiovascular complications based on fuzzy decision-making models]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = Systems Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2012, vol. 11, no. 1, pp. 170-174.

14. Korenevsky N. A. Metod sinteza geterogennykh nechetkikh pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskikh sistem [Method for the synthesis of heterogeneous fuzzy rules for the analysis and control of the state of biotechnical systems]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoе priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2013, no. 2, pp. 99-103.

15. Korenevsky N. A., Razumova K. V. Sintez nechetkikh klassifikatsionnykh pravil v mnogomernom prostranstve priznakov dlya meditsinskikh prilozhenii [Synthesis of fuzzy classification rules in a multidimensional space of signs for medical applications]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoе priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2012, no. 2, pp. 223-227.

16. Korenevsky N. A., Rodionova S. N., Govorukhina T. N., Myasoedova M. A. Nechetkie modeli otsenki urovnya ergonomiki tekhnicheskikh sistem i ee vliyanie na sostoyanie zdorov'ya cheloveka operatora s uchetom funktsional'nykh rezervov [Fuzzy models for assessing the level of ergonomics of technical systems and its impact on the human health of the operator, taking into account functional reserves]. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technologies*, 2019, vol. 7, no. 1 (24), pp. 39-53.

17. Korenevsky H. A., Rodionova S. N., Khripina I. I. Metodologiya sinteza gibridnykh nechetkikh reshayushchikh pravil dlya meditsinskikh intellektual'nykh sistem podderzhki prinyatiya reshenii [Methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems]. Stary Oskol, TNT Publ., 2019. 472 p.

18. Korenevsky N. A., Serebrovsky N. A., Kopteva V. I., Govorukhin N. A. Prognozirovaniye i diagnostika zabolеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами на основе гетерогенных моделей [Prediction and diagnostics of diseases caused by harmful industrial and environmental factors on the basis of heterogeneous models]. Kursk, Publishing House of the Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanov, 2012. 231 p.

19. Serebrovsky V. I., Myasoedova M. A., Serebrovsky V. V., Korenevsky N. A., Razumova K. V. Prognozirovanie i rannaya diagnostika professional'nykh zabolevanii v elektroenergetike na osnove metodologii sinteza gibriddenykh nechetkikh reshayushchikh pravil: monografiya [Prediction and early diagnosis of occupational diseases in the electric power industry based on the methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules]. Kursk, Publishing House of the Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanov, 2019. 285 p.
20. Korenevsky N. A., Stepashov R. V., Shutkin A. N., Tsimbyl E. V., Rodionova S. N., Rodionov D. S. Ispol'zovanie metodologii sinteza kollektivov gibriddenykh nechetkikh modelei dlya resheniya zadach otsenki sostoyaniya i upravleniya slozhnymi biotekhnicheskimi sistemami [The use of the synthesis methodology for collectives of hybrid fuzzy models for solving problems of assessing the state and managing complex biotechnical systems]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System Analysis and Control in Biomedical Systems*, 2018, vol. 14, no. 3, pp. 593-600.
21. Al-Kasasbeh R. T., Korenevskiy N. A., Alshamasin M. S., Maksim I. Method of Ergonomics Assessment of Technical Systems and Its Influence on Operators Heath on Basis of Hybrid Fuzzy Models. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, no. 590, pp. 581-592.
22. Al-Kasasbeh R. T., Korenevskiy N. A., Alshamasin M. S., Korenevskya S. N., Al-Kasasbeh E. T., Maksim I. Fuzzy Model Evaluation of Vehicles Ergonomics and Its Influence on Occupational Diseases. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, pp. 143-154.
23. Korenevskiy N. A., Degtyarev S. V., Seregin S. P., Novikov A. V. Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis. *Biomedical Engineering*, 2013, vol. 47, is. 4, pp. 169-172.
24. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in MedicalExpert Systems. *Biomedical Engineering*, 2015, vol. 49, pp. 46-49.

### **Информация об авторах / Information about the Authors**

**Кореневский Николай Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

**Nikolai A. Korenevsky**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

**Родионова Софья Николаевна**, аспирант  
кафедры биомедицинской инженерии,  
Юго-Западный государственный университет,  
г. Курск, Российская Федерация,  
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-4477-3975

**Sofya N. Rodionova**, Post-Graduate Student  
of the Department of Biomedical Engineering,  
Southwest State University,  
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-4477-3975

**Крикунова Евгения Владимировна**, аспирант,  
Юго-Западный государственный университет,  
г. Курск, Российская Федерация,  
e-mail: kev7002@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-7313-091X

**Evgeniya V. Krikunova**, Post-Graduate  
Student, Southwest State University, Kursk,  
Russian Federation,  
e-mail: kev7002@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-7313-091X

**Стародубцева Лилия Викторовна**, доцент  
кафедры вычислительной техники,  
Юго-Западный государственный университет,  
г. Курск, Российская Федерация,  
e-mail: lilja-74@inbox.ru

**Lilia V. Starodubtseva**, Associate Professor  
of the Department of Technical Education,  
Southwest State University, Kursk,  
Russian Federation,  
e-mail: lilja-74@inbox.ru

**Скиданчук Мария Владимировна**, аспирант  
кафедры биомедицинской инженерии,  
Юго-Западный государственный университет,  
г. Курск, Российская Федерация,  
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-9510-9847

**Maria V. Skidanchuk**, Post-Graduate Student  
of the Department of Biomedical Engineering,  
Southwest State University, Kursk,  
Russian Federation,  
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-9510-9847

## Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-163-179>

## Использование показателей, характеризующих адаптационные механизмы для оценки уровня защиты организма от воздействия внешних факторов риска

Р. И. Сафонов<sup>1</sup>, С. Н. Родионова<sup>2</sup>, Е. В. Крикунова<sup>2</sup>, Л. В. Стародубцева<sup>2</sup>✉,  
С. С. Сергеева<sup>2</sup>, А. В. Титова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И. И. Иванова  
ул. Карла Маркса 70, г. Курск 305021, Российская Федерация

<sup>2</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: lilja-74@inbox.ru

### Резюме

**Целью исследования** является улучшение показателей качества прогнозирования и диагностики заболеваний, вызываемых действием внешних патогенных факторов за счет использования показателей, характеризующих адаптационные механизмы для оценки уровня защиты организма.

**Методы.** Известно, что защитная система организма имеет сложную, иерархически организованную, достаточно плохо изученную структуру нестационарного, динамического типа, что не позволяет получить надежные модели количественной оценки уровня защиты организма с последующим выбором адекватных схем профилактики и лечения. В данной работе исследуются вопросы использования показателей, характеризующих адаптационные механизмы организма для количественной оценки уровня защиты организма от множественных экзогенных факторов. В качестве базового математического аппарата используется методология синтеза гибридных нечетких решающих правил.

**Результаты.** В работе показано, что для количественной оценки уровня защиты организма от внешних факторов риска можно использовать показатели адаптационного потенциала, энергетического разбаланса БАТ, адаптационного соответствия и ряда иммунологических показателей. Для этих показателей получены функции уровня защиты и обобщенный показатель уровня защиты организма в виде нечеткого решающего правила. Показан механизм встраивания этого показателя в прогностические и диагностические решающие правила. В результате экспериментного оценивания и математического моделирования было показано, что качество принятия решений с использованием предложенных моделей увеличивается на 10 – 15% в зависимости от типа решаемых задач и по сравнению с моделями, не использующими показатели уровня защиты организма.

**Заключение.** В ходе проведенных исследований было показано, что для улучшения показателей качества прогнозирования и диагностики заболеваний, вызываемых действием внешних патогенных факторов, могут быть использованы показатели уровня защиты организма, определяемые по его адаптационным механизмам. Установлено, что качество принятия решений с использованием предложенных моделей увеличивается на 10 – 15% в зависимости от типа решаемых задач и по сравнению с моделями, не использующими показатели уровня защиты организма.

© Сафонов Р. И., Родионова С. Н., Крикунова Е. В., Стародубцева Л. В., Сергеева С. С., Титова А. В., 2021

**Ключевые слова:** защита организма; воздействие внешних факторов; прогнозирование заболеваний; диагностика заболеваний.

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

**Финансиование:** Исследования выполнены в рамках проекта по реализации внутриуниверситетского гранта по программе развития ЮЗГУ (ПРИОРИТЕТ-2030) ПР2030/2021-22.

**Для цитирования:** Использование показателей, характеризующих адаптационные механизмы для оценки уровня защиты организма от воздействия внешних факторов риска / Р. И. Сафонов, С. Н. Родионова, Е. В. Крикунова, Л. В. Стародубцева, С. С. Сергеева, А. В. Титова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 163–179. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-163-179>

Поступила в редакцию 05.10.2021

Подписана в печать 01.11.2021

Опубликована 20.12.2021

## Use of Indicators Characterizing Adaptation Mechanisms to Assess the Level of Protection of the Body From External Risk Factors

Ruslan I. Safronov<sup>1</sup>, Sofya N. Rodionova<sup>2</sup>, Evgeniya V. Krikunova<sup>2</sup>,  
Lilia V. Starodubtseva<sup>2</sup>✉, Snezhana S. Sergeeva<sup>2</sup>, Anna V. Titova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanova,  
Karl Marx str. 70, Kursk 305021, Russian Federation,

<sup>2</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: lilja-74@inbox.ru

**The purpose of the research** is to improve the indicators of the quality of predicting and diagnosing diseases caused by the action of external pathogenic factors through the use of indicators characterizing adaptation mechanisms to assess the level of body defense.

**Methods.** It is known that the body's defense system has a complex, hierarchically organized rather poorly studied structure of a non-stationary, dynamic type, which does not allow obtaining reliable models for a quantitative assessment of the body's defense level with subsequent selection of adequate preventive and therapeutic schemes. This work examines the issues of using indicators characterizing the adaptive mechanisms of the body for a quantitative assessment of the level of the body's defense against multiple exogenous factors. The methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules is used as a basic mathematical apparatus.

**Results.** The work shows that for a quantitative assessment of the level of protection of the body from external risk factors, indicators of adaptive potential, energy imbalance of BAP, adaptive compliance and a number of immunological indicators can be used. For these indicators, functions of the level of protection and a generalized indicator of the level of protection of the body in the form of a fuzzy decision rule were obtained. The mechanism of embedding this indicator into prognostic and diagnostic decision rules is shown. As a result of expert assessment and mathematical modeling, it was shown that the quality of decision-making using the proposed models increases by 10 - 15%, depending on the type of problems being solved, in comparison with models that do not use indicators of the level of protection of the body.

**Conclusion.** In the course of the studies, it was shown that to improve the indicators of the quality of predicting and diagnosing diseases caused by the action of external pathogenic factors, indicators of the level of the body's defense determined by its adaptation mechanisms can be used. It was found that the quality of decision-making using the

*proposed models increases by 10 - 15% depending on the type of tasks being solved in comparison with models that do not use indicators of the level of the body's defense.*

**Keywords:** protection of the body; the impact of external factors; prognosis of diseases; diagnosis of diseases.

**Conflict of interest:** The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Funding:** The research was carried out within the framework of the project for the implementation of an intra-university grant under the Southwestern State University Development Program (PRIORITY-2030) PR2030/2021-22.

**For citation:** Safronov R. I., Rodionova S. N., Krikunova E. V., Starodubtseva L. V., Sergeeva S. S., Titova A. V. Use of Indicators Characterizing Adaptation Mechanisms to Assess the Level of Protection of the Body From External Risk Factors. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2021; 11(4): 163–179. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-163-179>

Received 05.10.2021

Accepted 01.11.2021

Published 20.12.2021

## Введение

Состояние организма человека и его выживаемость при его взаимодействии с не всегда дружественной внешней средой определяются его механизмами адаптации. Различные авторы дают весьма различные по своей сути определения этого механизма. Например, в работе [1] адаптацию определяют как совокупность морфофизиологических, поведенческих, популяционных и других особенностей организмов, обеспечивающую возможность специфического образа жизни в определенных условиях среды. Механизмы адаптации реализуются на клеточном, тканевом, органном, системном и организменном уровнях. Процесс адаптации определяется тремя основными компонентами: факторами внешней среды, организмом и механизмами их взаимодействия.

Среди многочисленных факторов действия окружающей среды на организм человека принято выделять адек-

ватные и неадекватные факторы. Адекватными считаются такие условия внешней среды, которые соответствуют генотипическим (врожденным) и фенотипическим (приобретенным) конституциональным свойствам организма в данный момент времени.

Неадекватными факторами считаются условия среды, не соответствующие в данный момент генофенотипическим свойствам организма. Неадекватные факторы среды исключают возможность сохранения и поддержания нормальной жизнедеятельности организма без достижения приспособления к этим изменениям, требуя от организма включения дополнительных механизмов адаптации, защищая тем самым организм человека от повреждений. При этом каждый акт адаптации сопровождается затратой веществ, энергии, различных ресурсов, в т. ч. и защитных. Если интенсивность внешних воздействий превышает ресурсы адаптации, то про-

исходит истощение этих ресурсов, организм теряет возможность осуществлять соответствующие перестройки структурно-функциональных связей со средой, и они нарушаются, приводя к появлению и развитию различных заболеваний. Описанные механизмы позволяют рассматривать ресурсы адаптации как характеристику уровня защиты организма от неадекватных факторов среды.

Механизмы адаптации имеют сложную, достаточно плохо изученную структуру нестационарного, динамического типа, что не позволяет получить надежные модели количественной оценки процессов адаптации и уровня защиты организма от различных типов факторов риска с последующим выбором оптимальных схем профилактики и лечения. На современном этапе развития науки удается получить лишь частные модели и рекомендации по оценке индивидуальной защиты организма от очень ограниченного и достаточно простого набора факторов риска. Это делает актуальной проблему поиска таких индикаторов уровня защиты организма от воздействия внешних факторов риска, использование которых позволит решать задачи синтеза математических моделей прогнозирования и оценки состояния организма в условиях отсутствия формальных моделей при неполном и нечетком описании объекта исследований.

## **Материалы и методы**

Анализ литературных данных и собственные исследования показали, что

для количественной оценки адаптационных механизмов и их связей с защитными свойствами организма предложен весьма ограниченный круг показателей.

Например, в работах [2; 3; 4] показывается, что хорошей информативностью с точки зрения определения защитных свойств организма обладают адаптационный потенциал (АП), определяемый через индекс функциональных изменений (ИФИ), и энергетический разбаланс (ЭС) меридианых структур организма, определяемый по электрическим характеристикам (ЭХ) биологически активных точек (БАТ) «связанных» с общесистемной реакцией организма.

Индекс ИФИ, согласно Р. Баевскому, определяется выражением

$$\text{ИФИ} = 0,011\text{ЧП} + 0,014\text{САД} + \\ + 0,008\text{ДАД} + 0,014\text{В} + \\ + 0,009\text{МТ} - 0,009\text{Р} - 0,27, \quad (1)$$

где ЧП – частота пульса; САД – систолическое артериальное давление (АД); ДАД – диастолическое артериальное давление; В – возраст; МТ – масса тела; Р – рост.

В соответствии с рекомендациями работ [2; 3; 5] уровень энергетического разбаланса ЭР будем определять через систему лингвистических переменных, определяемых функциями принадлежности к понятию высокий уровень разбаланса с базовой переменной  $\delta R_j$ , для группы общесистемных точек с использованием гибридного правила вида:

ЕСЛИ  $[(\delta R_{E23} > 20\%) \text{ И } (\delta R_{V60} > 20\%)]$  ТО  
 $[\mathcal{EP}(q+1) = \mathcal{EP}(q) + \mu_{\mathcal{EP}}(\delta R_{j+1})[1 - \mathcal{EP}(q)]]$   
 ИНАЧЕ  $(\mathcal{EP}=0)$ , (2)

где  $\mu_{\mathcal{EP}}(\delta R_{j+1})$  – функция принадлежности, характеризующая уровень энергетического разбаланса по точке  $j+1$ ;  
 $\delta R_2 = \delta R_{E36}; \delta R_3 = \delta R_{RP6}; \delta R_4 = \delta R_{V40}; \delta R_5 = \delta R_{V60}; \delta R_6 = \delta R_{VB20}; \mathcal{EP}(1) = \mu_{\mathcal{EP}}(\delta R_{E23});$

$$\mu_{\mathcal{EP}}(\delta R_{E23}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta R_{E23} < 20\%, \\ 0,008 \delta R_{E23} - 0,16, & \text{если } 20\% \leq \delta R_{E23} < 70\%, \\ 0,4, & \text{если } \delta R_{E23} \geq 70\%, \end{cases}$$

$$\mu_{\mathcal{EP}}(\delta R_{E36}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta R_{E36} < 20\%, \\ 0,01125 \delta R_{E36} - 0,225, & \text{если } 20\% \leq \delta R_{E36} < 60\%, \\ 0,45, & \text{если } \delta R_{E36} \geq 60\%, \end{cases}$$

$$\mu_{\mathcal{EP}}(\delta R_{RP6}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta R_{RP6} < 20\%, \\ 0,017 \delta R_{RP6} - 0,33, & \text{если } 20\% \leq \delta R_{RP6} < 50\%, \\ 0,5, & \text{если } \delta R_{RP6} \geq 50\%, \end{cases}$$

$$\mu_{\mathcal{EP}}(\delta R_{V40}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta R_{V40} < 20\%, \\ 0,005 \delta R_{V40} - 0,1, & \text{если } 20\% \leq \delta R_{V40} < 70\%, \\ 0,25, & \text{если } \delta R_{V40} \geq 70\%, \end{cases}$$

$$\mu_{\mathcal{EP}}(\delta R_{V60}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta R_{V60} < 20\%, \\ 0,01125 \delta R_{V60} - 0,225, & \text{если } 20\% \leq \delta R_{V60} < 60\%, \\ 0,45, & \text{если } \delta R_{V60} \geq 60\%, \end{cases}$$

$$\mu_{\mathcal{EP}}(\delta R_{VB20}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta R_{VB20} < 20\%, \\ 0,0125 \delta R_{VB20} - 0,25, & \text{если } 20\% \leq \delta R_{VB20} < 60\%, \\ 0,5, & \text{если } \delta R_{VB20} \geq 60\%. \end{cases}$$

В работе [5] для оценки уровня защитных свойств организма используется показатель адаптационного соответствия (ПАС), рассчитываемый по формуле

$$PAC = 0,011(P - P^*) + 0,014(S - S^*) + 0,008(D - D^*) + 0,009(W - W^*), \quad (3)$$

где  $P, S, D, W$  – диагностически значимые частоты пульса (уд/мин) в среднем

за сутки, систолическое и диастолическое давление среднее за сутки (мм рт. ст.), масса тела (кг) соответственно;  $P^*, S^*, D^*, W^*$  – номинальные значения соответствующих показателей.

Решение о величине функционального резерва принимается в соответствии со следующим алгоритмом: если  $PAC \leq 0$ , то функционирование организма не нарушено; если  $0 < PAC \leq 0,3$ , то

функционирование организма компенсировано за счёт собственных резервов или за счёт медицинской помощи; если  $PAC > 0,3$ , то функционирование организма нарушено, собственные ресурсы истощены, медицинская помощь не полностью компенсирует нарушения. Кроме того, вместо ИФИ предлагается использовать более простую формулу вида

$$AP = 1,238 + 0,094 \cdot CP, \quad (4)$$

где АП – адаптационный потенциал, баллы; ЧП – частота пульса ударов в минуту.

Измерения проводят на лучевой артерии в течение одной минуты после 15 мин покоя. Показатель АП имеет ту же классификационную способность по уровню адаптации, что и индекс функциональных изменений со следующими порогами:  $AP \leq 7,2$  – удовлетворительный уровень адаптации;  $7,2 < AP \leq 8,24$  – напряжение механизмов адаптации;  $8,24 < AP \leq 9,85$  – неудовлетворительная адаптация;  $AP > 9,85$  – срыв механизмов адаптации.

Эффективность использования показателей АП, ИФИ, ЭХБАТ и ПАС доказана на ряде задач оценки влияния на организм человека таких внешних факторов, как производственная среда и экологическая нагрузка. Причем они отражают общесистемную реакцию организма, фиксируя в основном непосредственную близость к границе «слома» организма и сам «слом». К более «тон-

ким» реакциям организма на начинающиеся негативные процессы они практически не чувствительны, что делает их малоинформативными для решения задач прогнозирования и недостаточно информативными для решения задач ранней диагностики для широкого круга социально значимых заболеваний.

Для повышения точности оценки защитных механизмов организма в работах [3; 5] дополнительно к показателям АП и ПАС предлагается использовать ряд иммунологических лабораторных показателей (ИЛП) в составе:  $a_1$  – иммунорегуляторный коэффициент CD4+/CD8+ (индекс)  $a_2$ ; CD4+25+ Т – лимфоциты, экспрессирующие рецепторы к IL2 (% от CD4+ Т-клеток);  $a_3$  – активированные NK-клетки (экспрессирующие HLA-DR-молекулы) (% от NK-клеток;  $a_4$  – фенотип NK-клеток CD3-16+56- (высокая), %.

Для этого набора показателей с использованием технологии Делфи в в работах [3; 5] были получены функции уровней защиты  $f(a_1), f(a_2), f(a_3), f(a_4)$ , отражающие мнение экспертов о том, при каких значениях базовых переменных  $a_1, a_2, a_3, a_4$  организм будет защищаться от внешних воздействий и с какой степенью. С физиологической точки зрения поддержка в рамках коридора нормы каждого из лабораторных показателей увеличивает уровень защиты организма, что позволяет использовать модифицированную формулу Е. Шортлифа для оценки уровня защиты организма  $UZA$  по группе лабораторных показателей:

$$\begin{aligned} \text{UZ}_A(j+1) &= \\ &= \text{UZ}_A(j) + f(a_{j+1})[1 - \text{UZ}_A(j)], \quad (5) \end{aligned}$$

где  $\text{UZ}_A(1) = f(a_1)$ .

В работе [3] было показано, что включение иммунологических показателей в модель количественной оценки уровня защиты организма позволяет увеличить качество прогнозирования рецидивов генитального герпеса на 5-10%.

В работах<sup>1</sup> было показано, что одним из уровней защиты организма от экзогенных и эндогенных факторов риска является оксидантный механизм организма определяемый по показателям перикисного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантной активности (АОА) [6; 7; 8; 9; 10; 11; 12]. Однако в известной литературе вопрос использования показателей ПОЛ и АOA в качестве индикаторов уровня защиты практически не изучался, что требует проведения специальных исследований.

Таким образом, в различных литературных источниках описан набор показателей, характеризующих уровень защиты организма от воздействия внешних разнородных факторов риска. С позиций теории измерения латентных переменных уровень защиты организма является классической латентной переменной, а перечисленным выше набором измеряемых переменных по суще-

ству являются индикаторные переменные. Это позволило использовать теорию измерения латентных переменных, реализуемую пакетом RUMM 2020, для оценки информативности показателей АП, ИФИ, ЭХБАТ, ПАС и ИЛП в решении задачи определения уровня защиты организма.

### **Результаты и их обсуждение**

В ходе предварительного анализа было установлено, что показатели ИФИ и АП имеют достаточно тесную корреляционную связь (по Пирсону  $r = 0,88$ ), поэтому ИФИ был исключен из дальнейшего анализа как малоинформативный и более сложно рассчитываемый, чем АП.

Для оценки связи индикаторных переменных АП, ЭР, ПАС и ИЛП с латентной переменной уровня защиты организма с использованием интерактивного пакета RUMM 2020 была создана экспертная группа из 8 человек, которые сформировали группу испытуемых из 50 человек с различным уровнем защиты. Уровень защиты определялся экспертами по десятибалльной шкале с учетом условий жизни и индивидуального состояния здоровья. У всех пятидесяти человек определялись числовые значения исследуемых показателей с составлением таблицы экспериментальных данных (ТЭД). Фрагмент ТЭД представлен таблицей.

<sup>1</sup> Воробьева О. М. Разработка математических моделей прогнозирования и профил-

актики рецидивов инфаркта миокарда в реабилитационном периоде: дис. ... канд. мед. наук. Курск, 2013, 164 с.

**Таблица.** Фрагмент ТЭД для обработки пакетом RUMM 2020**Table.** TED fragment to be processed by the package

	1	2	3	4	5	...	...	49	50
АП	3,2	7,1	6,8	5,2	7,2	...	...	9,3	9,7
ЭР	0,1	0	0,05	0,1	0,15	...	...	7,5	7,0
ПАС	-0,05	-0,1	-0,05	0,1	0	...	...	0,54	0,43
ИЛП	0,75	0,8	0,77	0,93	0,82	...	...	0,1	0,15

В таблице обследуемые размещены в порядке убывания их уровня защиты. Порядок подготовки данных и интерпретация их обработки пакетом RUMM 2020 описаны в работах [13; 15]. По результатам обработки было установлено, что по всем анализируемым переменным степень соответствия индикаторных переменных модели измерения  $ChiSq\ Prob значительно превышает величину 0,05. В соответствии с логикой теории измерения латентных переменных с моделью Г. Раша это означает, что все переменные удовлетворяют этой модели и описывают латентную переменную «уровень защиты».$

В условиях отсутствия четкого формального определения понятия «уровень защиты» и отсутствия статистических и тем более детерминированных моделей

взаимосвязи между исследуемыми индикаторными и латентной переменной, в соответствии с рекомендациями [5; 13] для получения модели оценки уровня защиты по значениям показателей АП, ЭР, ПАС и ИЛП выбрана методология синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП), которая в дальнейшем может быть использована для решения задач прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, вызываемых воздействием внешних гетерогенных факторов риска. Механизм синтеза правил такого типа и встраивания в них показателя уровня защиты<sup>1</sup> описан в работах [13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24].

Используя общие рекомендации МСГНРП, эксперты построили графики уровня защиты по показателям АП, ЭР и ПАС (рис.). Уровень защиты организма по показателю ИЛП определяется по формуле (5).

<sup>1</sup> Воробьева О. М. Разработка математических моделей прогнозирования и профилак-

тики рецидивов инфаркта миокарда в реабилитационном периоде: дис. ... канд. мед. наук. Курск, 2013. 164 с.

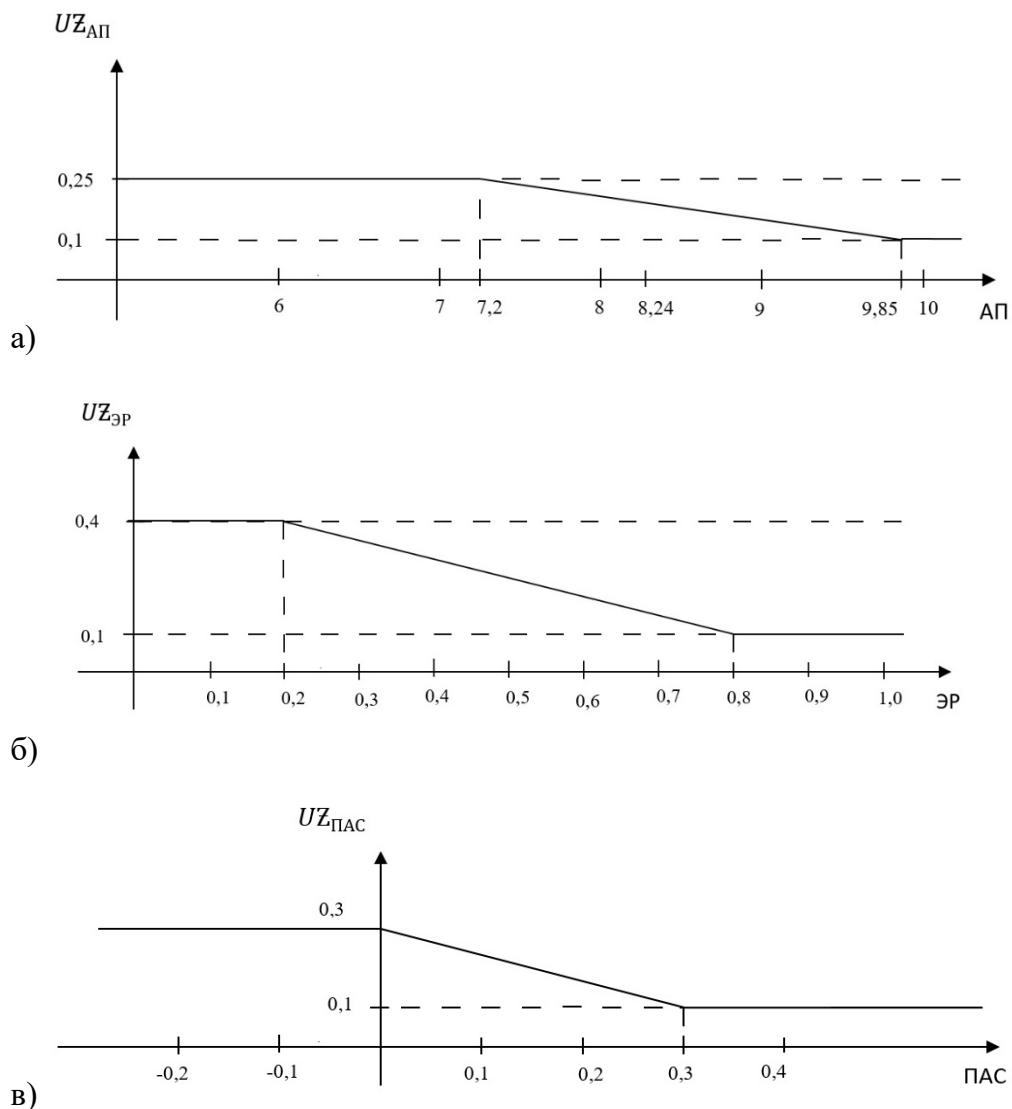


Рис. Графики уровня защиты по: а – показателю АП; б – показателю ЭР; в – показателю ПАС

Fig. Graphs of the software protection level: а – the AP indicator; б – the ER indicator; в – the PAS indicator

Максимальные значения функций уровня защиты соответствуют мнению экспертов о том, насколько исследуемый показатель может характеризовать защитные свойства организма. Минимальные значения функций уровня защиты соответствуют мнению экспертов о роли исследуемых показателей в оценке потери защитных свойств организма в целом.

Исследуемые показатели характеризуют различные механизмы защиты организма от разнородных внешних факторов, что в соответствии с рекомендациями [4; 5; 13; 17] делает целесообразным использовать в качестве агрегатора для расчета интегральной оценки уровня защиты целостного организма выражение вида

$$\begin{aligned} UZI(q+1) &= \\ &= UZI(q) + Q(q+1)[1 - UZI(q)], \quad (6) \end{aligned}$$

где  $UZI(1) = UZ_A = Q(1)$ ;  $Q(2) = UZ_{AP}$ ;  $Q(3) = UZ_{EP}$ ;  $Q(4) = UZ_{PAC}$ .

Для «встраивания» показателя  $UZI$  в прогностические и диагностические модели можно использовать гибридные модели вида [4]:

$$UPR_\ell = \begin{cases} UP_\ell - UZI, & \text{если } UP_\ell > UZI; \\ 0, & \text{если } UP_\ell < UZI, \end{cases} \quad (7)$$

где  $UP_\ell$  – уверенность в прогностической или диагностической гипотезе  $\omega_\ell$  без учета  $UZI$ ;  $UPR_\ell$  – с учетом  $UZI$ .

В результате экспертного оценивания и математического моделирования было показано, что качество принятия решений с использованием модели (7) увеличивается на 10 – 15% в зависимости от типа решаемых задач и по сравнению с моделями, не использующими показатели уровня защиты организма.

## Выводы

В ходе проводимых исследований решалась задача улучшения показателей качества прогнозирования и диагностики заболеваний, вызываемых действием внешних патогенных факторов

за счет использования показателей уровня защиты организма, характеризующих его адаптационные механизмы. Было показано, что для количественной оценки уровня защиты организма от внешних факторов риска можно использовать показатели адаптационного потенциала, энергетического разбаланса БАТ, адаптационного соответствия и ряда иммунологических показателей.

Для этих показателей получены функции уровня защиты и обобщенный показатель уровня защиты организма в виде нечеткого решающего правила. Показан механизм встраивания этого показателя в прогностические и диагностические решающие правила. В результате экспертного оценивания и математического моделирования было показано, что качество принятия решений с использованием предложенных моделей увеличивается на 10 – 15% в зависимости от типа решаемых задач по сравнению с моделями, не использующими показатели уровня защиты организма, что позволяет рекомендовать полученные результаты к практическому использованию в системе здравоохранения.

## Список литературы

1. Кузьмина В. Е., Беляков В. И. Основы адаптологии. 2-е изд. Самара: Изд-во «Самарский университет», 2013. 236 с.
2. Кореневский Н. А., Крупчанников Р. А., Аль-Касасбех Р. Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 528 с.

3. Использование информационных технологий для прогнозирования и диагностики инфекционных заболеваний (на примере генитального герпеса) / М. И. Лукашов, Н. А. Кореневский, В. И. Серебровский [и др.]. Курск: Издательство Курской государственной сельскохозяйственной академии имени И. И. Иванова, 2011. 123 с.

4. Оценка защитных механизмов организма и их роль в задачах прогнозирования и медицинской диагностики / С. В. Харьков, С. Д. Долженков, С. Н. Кореневская, А. Г. Коцарь // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. Т. 11, № 1. С. 44-49.

5. Оценка и управление состояния здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н. А. Кореневский, А. Н. Шуткин, С. А. Горбатенко, В. И. Серебровский. Старый Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.

6. Воробьева О. М., Мишустин В. Н., Чернова И. В. Синтез решающих правил для прогнозирования инфаркта миокарда по показателям перекислого окисления липидов и антиокислительной активности // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. Т. 2, № 2. С. 249-252.

7. Воробьева О. М., Серегин С. П., Чернова И. В. Математическое прогнозирование инфаркта миокарда и сердечно-сосудистых осложнений у урологических больных // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 2, ч. 3. С. 328-331.

8. Математическое моделирование развития инфаркта миокарда и сердечно-сосудистых осложнений на основе нечетких моделей принятия решений / О. М. Воробьева, И. В. Чернова, М. Н. Цуканова, С. Д. Долженков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. Т. 11, № 1. С. 170-174.

9. Совершенствование оценки функциональных резервов организма – приоритетное направление развития донозологической диагностики преморбидных состояний / А. Н. Курзанов, А. Н. Заболотских, Д. В. Ковалев, Д. А. Бузашвили // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 10-1. С. 67-70.

10. Надеев А. Д., Гончаров Н. В. Активные формы кислорода в клетках сердечно-сосудистой системы // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2014. № 4. С. 80-94.

11. Пожилова Е. В., Новиков В. Е., Левченкова О. С. Активные формы кислорода в физиологии и патологии клетки // Вестник Смоленской государственной академии. 2015. Т. 14, № 2. С. 13-21.

12. Узбеков М. Г. Перекисное окисление липидов и антиоксидантные системы при психических заболеваниях // Социальная и клиническая психиатрия. 2014. Т. 24, № 4. С. 97-103.

13. Кореневский Н. А., Родионова С. Н., Хрипина И. И. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.
14. Кореневский Н. А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 2. С. 99-103.
15. Кореневский Н. А., Разумова К. В. Синтез нечетких классификационных правил в многомерном пространстве признаков для медицинских приложений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2. С. 223-227.
16. Нечеткие модели оценки уровня эргономики технических систем и ее влияние на состояние здоровья человека оператора с учетом функциональных резервов / Н. А. Кореневский, С. Н. Родионова, Т. Н. Говорухина, М. А. Мясоедова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 9, № 1 (24). С. 39–53.
17. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами на основе гетерогенных моделей / Н. А. Кореневский, Н. А. Серебровский, В. И. Коптева, Н. А. Говорухина. Курск: Издательство Курской государственной сельскохозяйственной академии имени И. И. Иванова, 2012. 231 с.
18. Прогнозирование и ранняя диагностика профессиональных заболеваний в электроэнергетике на основе методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил: монография / В. И. Серебровский, М. А. Мясоедова, В. В. Серебровский, Н. А. Кореневский, К. В. Разумова. Курск: Издательство Курской государственной сельскохозяйственной академии имени И. И. Иванова, 2019. 285 с.
19. Синтез комбинированных нечетких решающих правил для прогнозирования послеоперационных осложнений в урологии / С. П. Серегин, С. Д. Долженков, С. Н. Кореневская, Т. Н. Сапитонова // Известия Юго-Западного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2, ч. 3. С. 293-297.
20. Использование методологии синтеза коллективов гибридных нечетких моделей для решения задач оценки состояния и управления сложными биотехническими системами / Н. А. Кореневский, Р. В. Степашов, А. Н. Шуткин, Е. В. Цымбыл, С. Н. Родионова, Д. С. Родионов // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2018. Т. 14, № 3. С. 593-600.
21. Method of Ergonomics Assessment of Technical Systems and Its Influence on Operators Heath on Basis of Hybrid Fuzzy Models / R. T. Al-Kasasbeh, N. A. Korenevskiy,

M. S. Alshamasin, I. Maksim // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. N 590. P. 581-592.

22. Fuzzy Model Evaluation of Vehicles Ergonomics and Its Influence on Occupational Diseases / R. T. Al-Kasasbeh, N. A. Korenevskiy, M. S. Alshamasin, S. N. Korenevskya, E. T. Al-Kasasbeh, I. Maksim // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. P. 143-154.

23. Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis / N. A. Korenevsky, S. V. Degtyarev, S. P. Seregin, A. V. Novikov // Biomedical Engineering. 2013. Vol. 47, is. 4. P. 169-172.

24. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in MedicalExpert Systems // Biomedical Engineering. 2015. Vol. 49. P. 46-49.

## References

1. Kuzmina V. E., Belyakov V. I. Osnovy adaptologii [Fundamentals of adaptology: a tutorial]. 2<sup>nd</sup> ed. Samara, Publishing House "Samara University ", 2013. 236 p.
2. Korenevsky N. A., Krupchatnikov R. A., Al-Kasasbeh R. T. Teoreticheskie osnovy biofiziki akupunktury s prilozheniyami v meditsine, psichologii i ekologii na osnove nechetkikh setevykh modelei [Theoretical foundations of biophysics of acupuncture with applications in medicine, psychology and ecology based on fuzzy network models]. Stary Oskol, TNT Publ., 2013. 528 p.
3. Lukashov M. I. , Korenevsky N. A., Serebrovsky V. I., eds. Ispol'zovanie informatsionnykh tekhnologii dlya prognozirovaniya i diagnostiki infektsionnykh zabolevanii (na primere genital'nogo gerpesa) [The use of information technologies for predicting and diagnosing infectious diseases (for example, genital herpes)]. Kursk, Publishing House of the Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanov, 2011. 123 p.
4. Kharkov S. V., Dolzhenkov S. D., Korenevskaya S. N., Kotsar A. G. Otsenka zashchitnykh mekhanizmov organizma i ikh rol' v zadachakh prognozirovaniya i meditsinskoi diagnostiki [Assessment of the protective mechanisms of the body and their role in the tasks of forecasting and medical diagnostics]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System Analysis and Control in Biomedical Systems*, 2012, vol. 11, no. 1, pp. 44-49.
5. Korenevsky N. A., Shutkin A. N., Gorbatenko S. A., Serebrovsky V. I. Otsenka i upravlenie sostoyaniya zdorov'ya obuchayushchikhsya na osnove gibriddenykh intellektual'nykh tekhnologii [Assessment and management of the state of health of students on the basis of hybrid intelligent technologies]. Stary Oskol, TNT Publ., 2016. 472 p.
6. Vorobieva O. M., Mishustin V. N., Chernova I. V. Sintez reshayushchikh pravil dlya prognozirovaniya infarkta miokarda po pokazatelyam perekislogo okisleniya lipidov i anti-

okislitel'noi aktivnosti [Synthesis of decision rules for predicting myocardial infarction by indicators of lipid peroxidation and antioxidant activity]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceeding of the Southwest State University*, 2012, no. 2, pt. 2, pp. 249-252.

7. Vorobieva O. M., Seregin S. P., Chernov I. V. Matematicheskoe prognozirovaniye infarkta miokarda i serdechno-sosudistykh oslozhnenii u urologicheskikh bol'nykh [Mathematical prediction of myocardial infarction and cardiovascular complications in urological patients]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceeding of the Southwest State University*, 2012, no. 2, pt. 3, pp. 328-331.

8. Vorobieva O. M., Chernova I. V., Tsukanova M. N., Dolzhenkov S. D. Matematicheskoe modelirovaniye razvitiya infarkta miokarda i serdechno-sosudistykh oslozhnenii na osnove nechetkikh modelei prinyatiya reshenii [Mathematical modeling of the development of myocardial infarction and cardiovascular complications based on fuzzy decision-making models]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = Systems Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2012, vol. 11, no. 1, pp. 170-174.

9. Kurzanov A. N., Zabolotskikh A. N., Kovalev D. V., Buzashvili D. A. Sovremenstvovanie otsenki funktsional'nykh rezervov organizma – prioritetnoe napravlenie razvitiya donozologicheskoi diagnostiki premorbidnykh sostoyanii [Improving the assessment of the body's functional reserves is a priority direction in the development of prenosological diagnostics of premorbid conditions]. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya = International Journal of Experimental Education*, 2015, no. 10-1, pp. 67-70.

10. Nadeev A. D., Goncharov N. V. Aktivnye formy kisloroda v kletkakh serdechno-sosudistoi sistemy [Reactive oxygen species in cardiac cells vascular system]. *Kompleksnye problemy serdechno-sosudistykh zabolеваний = Complex Problems of Cardiovascular Diseases*, 2014, no. 4, pp. 80-94.

11. Pozhilova E. V., Novikov V. E., Levchenkova O. S. Aktivnye formy kisloroda v fiziologii i patologii kletki [Reactive oxygen species in physiology and cell pathology]. *Vestnik Smolenskoi gosudarstvennoi akademii = Bulletin of the Smolensk State Academy*, 2015, vol. 14, no. 2, pp. 13-21.

12. Uzbekov M. G. Perekisnoe okislenie lipidov i antioksidantnye sistemy pri psikhicheskikh zabolеваниях [Lipid peroxidation and antioxidant systems for mental illness]. *Sotsial'naya i klinicheskaya psichiatriya = Social and Clinical Psychiatry*, 2014, vol. 24, no. 4, pp. 97-103.

13. Korenevsky H. A., Rodionova S. N., Khripina I. I. Metodologiya sinteza gibriddenkh nechetkikh reshayushchikh pravil dlya meditsinskikh intellektual'nykh sistem podderzhki prinyatiya reshenii [Methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems]. Stary Oskol, TNT Publ., 2019. 472 p.

14. Korenevsky N. A. Metod sinteza geterogennykh nechetkikh pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskikh sistem [Method for the synthesis of heterogeneous fuzzy rules for the analysis and control of the state of biotechnical systems]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2013, no. 2, pp. 99-103.
15. Korenevsky N. A., Razumova K. V. Sintez nechetkikh klassifikatsionnykh pravil v mnogomernom prostranstve priznakov dlya meditsinskikh prilozhenii [Synthesis of fuzzy classification rules in a multidimensional space of signs for medical applications]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2012, no. 2, pp. 223-227.
16. Korenevsky N. A., Rodionova S. N., Govorukhina T. N., Myasoedova M. A. Nechetkie modeli otsenki urovnya ergonomiki tekhnicheskikh sistem i ee vliyanie na sostoyanie zdorov'ya cheloveka operatora s uchetom funktsional'nykh rezervov [Fuzzy models for assessing the level of ergonomics of technical systems and its impact on the human health of the operator, taking into account functional reserves]. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technologies*, 2019, vol. 9, no. 1 (24), pp. 39-53.
17. Korenevsky N. A., Serebrovsky N. A., Kopteva V. I., Govorukhin N. A. Prognozirovaniye i diagnostika zabolevanii, vyzyvaemykh vrednymi proizvodstvennymi i ekologicheskimi faktorami na osnove geterogennykh modelei [Prediction and diagnostics of diseases caused by harmful industrial and environmental factors on the basis of heterogeneous models]. Kursk, Publishing House of the Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanov, 2012. 231 p.
18. Serebrovsky V. I., Myasoedova M. A., Serebrovsky V. V., Korenevsky N. A., Razumova K. V. Prognozirovaniye i rannyaya diagnostika professional'nykh zabolevanii v elektroenergetike na osnove metodologii sinteza gibriddenykh nechetkikh reshayushchikh pravil: monografiya [Prediction and early diagnosis of occupational diseases in the electric power industry based on the methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules]. Kursk, Publishing House of the Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanov, 2019. 285 p.
19. Seregin S. P., Dolzhenkov S. D., Korenevskaya S. N., Sapitonova T. N. Sintez kombinirovannykh nechetkikh reshayushchikh pravil dlya prognozirovaniya posleoperatsionnykh

oslozhnenii v urologii [Synthesis of combined fuzzy decision rules for predicting postoperative complications in urology]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2012, no. 2, pt. 3, pp. 293-297.

20. Korenevsky N. A., Stepashov R. V., Shutkin A. N., Tsimbyl E. V., Rodionova S. N., Rodionov D. S. Ispol'zovanie metodologii sinteza kollektivov gibriddenykh nechetkikh modelei dlya resheniya zadach otsenki sostoyaniya i upravleniya slozhnymi biotekhnicheskimi sistemami [The use of the synthesis methodology for collectives of hybrid fuzzy models for solving problems of assessing the state and managing complex biotechnical systems]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System Analysis and Control in Biomedical Systems*, 2018, vol. 14, no. 3, pp. 593-600.

21. Al-Kasasbeh R. T., Korenevskiy N. A., Alshamasin M. S., Maksim I. Method of Ergonomics Assessment of Technical Systems and Its Influence on Operators Health on Basis of Hybrid Fuzzy Models. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, no. 590, pp. 581-592.

22. Al-Kasasbeh R. T., Korenevskiy N. A., Alshamasin M. S., Korenevskya S. N., Al-Kasasbeh E. T., Maksim I. Fuzzy Model Evaluation of Vehicles Ergonomics and Its Influence on Occupational Diseases. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, pp. 143-154.

23. Korenevskiy N. A., Degtyarev S. V., Seregin S. P., Novikov A. V. Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis. *Biomedical Engineering*, 2013, vol. 47, is. 4, pp. 169-172.

24. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in MedicalExpert Systems. *Biomedical Engineering*, 2015, vol. 49, pp. 46-49.

## Информация об авторах / Information about the Authors

**Сафонов Руслан Игоревич**, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электроэнергетики, Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И. И. Иванова, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: russafronov@yandex.ru

**Ruslan I. Safronov**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electric Power Engineering, Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanov, Kursk, Russian Federation, e-mail: russafronov@yandex.ru

**Родионова Софья Николаевна**, аспирант кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-4477-3975

**Крикунова Евгения Владимировна**, аспирант кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kev7002@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7313-091X

**Стародубцева Лилия Викторовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: lilja-74@inbox.ru

**Сергеева Снежана Сергеевна**, студент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: snezanasergeeva33@gmail.com

**Титова Анна Владимировна**, аспирант кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-3079-8792

**Sofya N. Rodionova**, Post-Graduate Student of the Biomedical Engineering Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru, ORCID 0000-0002-4477-3975

**Evgeniya V. Krikunova**, Post-Graduate Student of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kev7002@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7313-091X

**Lilia V. Starodubtseva**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Technical Education, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: lilja-74@inbox.ru

**Snezhana S. Sergeeva**, Student of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: snezanasergeeva33@gmail.com

**Anna V. Titova**, Post-Graduate Student of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-3079-8792

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-180-195>



## Метод идентификации заболевания пчелиных семей варроатозом с использованием ассоциативно-онтологического анализа инфологической системой информационно-аналитического управления пчеловодческими хозяйствами

И. Г. Бабанин<sup>1</sup>✉, А. Е. Севрюков<sup>1</sup>, А. В. Хмелевская<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: babanin\_ivan@bk.ru

### Резюме

**Цель исследования** – провести анализ и предложить метод синтеза инфологической системы в задачах информационно-аналитического обеспечения пчеловодческой деятельности в части идентификации заболевания пчелиных семей варроатозом с использованием неструктурированных данных, полученных с территориально-распределенных пчеловодческих хозяйствах.

**Методы.** При проведении исследований и разработки метода идентификации заболевания пчелиных семей варроатозом использовались методы теорий: алгоритмов, вероятностей и математической статистики, вычислений, графов.

**Результаты.** Рассмотрены методы идентификации поражения пчелиных семей варроатозом, а также способы оценки степени заражения. В ходе анализа выявлено, что существующие способы имеют недостатки: нет системной физически разнородной идентификации болезни; разные способы оценки степени заражения дают погрешность до 48%; нет оценки поражения болезнью с использованием средств технического зрения в видимом и инфракрасном диапазонах. Учитывая недостатки, полученные в ходе критического анализа, предложена логическая модель инфологической системы, позволяющая производить анализ в зависимости типа запроса экспертом, неструктурированных физически разнородных данных. Представлены наиболее эффективные алгоритмы обработки акустических сигналов и изображений в видимом диапазоне, а также предложен алгоритм обработки данных на ассоциативно-онтологическом уровне инфологической модели с целью выработки наиболее оптимального решения о степени заражения.

**Заключение.** Метод идентификации заболевания пчелиных семей варроатозом, положенный в инфологическую систему информационно-аналитического управления пчеловодческими хозяйствами, позволяет сформировать данные о состоянии колоний высокоорганизованных насекомых в регионе, стране для ведомственных учреждений по контролю и предупреждению вирусных и инфекционных заболеваний, а также для крестьянских (фермерских) хозяйств. Результаты обработки инфологической системой в дальнейшем могут быть использованы для формирования управляющих воздействия на средства биологической обработки.

**Ключевые слова:** инфологическая система; частотно-временной анализ; семантический анализ; ассоциативно-онтологический анализ; пчеловодство; варроатоз.

© Бабанин И. Г., Севрюков А. Е., Хмелевская А. В., 2021

**Благодарности:** Авторы выражают признательность доктору технических наук, профессору А. Ф. Рыбочкину, доктору технических наук, профессору Е. Г. Жилякову, доктору технических наук, доценту А. А. Черноморцу, кандидату технических наук, профессору И. И. Олейнику, кандидату технических наук, профессору А. Н. Заливину за оказанную помощь в проведении данного исследования.

**Для цитирования:** Бабанин И. Г., Севрюков А. Е., Хмелевская А. В. Метод идентификации заболевания пчелиных семей варроатозом с использованием ассоциативно-онтологического анализа инфологической системой информационно-аналитического управления пчеловодческими хозяйствами // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 180–195. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-180-195>

Поступила в редакцию 17.10.2021

Подписана в печать 11.11.2021

Опубликована 20.12.2021

## **Method of Identification of the Disease of Bee Colonies with Varroatosis Using Associative-Ontological Analysis by the Infological System of Information and Analytical Management of Beekeeping Farms**

**Ivan G. Babanin<sup>1</sup> , Aleksandr E. Sevryukov<sup>1</sup>, Alena V. Khmelevskaya<sup>1</sup>**

Southwest State University,  
50 let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

 e-mail: babanin\_ivan@bk.ru

### **Abstract**

**The purpose of research** is to analyze and propose a method for synthesizing an infological system in the tasks of information and analytical support of beekeeping activities, in terms of identifying the disease of bee colonies with varroatosis using unstructured data obtained from geographically distributed beekeeping farms.

**Methods.** When conducting research and developing a method for identifying the disease of bee colonies with varroosis, methods of theories were used: algorithms, probabilities and mathematical statistics, calculations, graphs.

**Results.** Methods of identification of bee colonies affected by varroatosis, as well as ways to assess the degree of infection are considered. During the analysis, it was revealed that the existing methods have disadvantages: there is no systematic physically heterogeneous identification of the disease; different methods of assessing the degree of infection give an error of up to 48%; there is no assessment of the disease with the use of technical vision in the visible and infrared ranges. Taking into account the shortcomings obtained during the critical analysis, a logical model of the infological system is proposed, which allows analyzing unstructured physically heterogeneous data depending on the type of request by an expert. The most effective algorithms for processing acoustic signals and images in the visible range are presented, and an algorithm for processing data at the associative-ontological level of the infological model is proposed in order to develop the most optimal solution about the degree of infection.

**Conclusion.** The method of identifying the disease of bee colonies with varroatosis, put into the infological system of information and analytical management of beekeeping farms, allows you to generate data on the state of colonies of highly organized insects in the region, the country for departmental institutions for the control and prevention of viral and infectious diseases, as well as for peasant (farm) farms. The results of processing by the infological system can later be used to form the control effects on the means of biological treatment.

**Keywords:** infological system; time-frequency analysis; semantic analysis; associative-ontological analysis; beekeeping; varroatosis.

**Conflict of interest:** The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Acknowledgements:** The authors express their gratitude to the Doctor of Technical Sciences, Professor Rybochkin A. F., Doctor of Technical Sciences, Professor E. G. Zhilyakov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor A. A. Chernomorets, Candidate of Technical Sciences, Professor I. I. Oleinik, Candidate of Technical Sciences, Professor A.N. Zalivin for his assistance in this study.

**For citation:** Babanin I. G., Sevryukov A. E., Khmelevskaya A. V. Method of Identification of the Disease of Bee Colonies with Varroatosis Using Associative-Ontological Analysis by the Infological System of Information and Analytical Management of Beekeeping Farms. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoje priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2021; 11(4): 180–195. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-180-195>

Received 17.10.2021

Accepted 11.11.2021

Published 20.12.2021

## Введение

Варо́з (*Varroasis apium*), варроато́з – одно из самых распространённых и опаснейших паразитарных заболеваний медоносных пчёл (взрослых особей и куколок), вызываемое клещами рода *Varroa* [1].

На сегодняшний день представлено значительное количество методов и электронных устройств по выявлению и борьбе с заболеванием пчел варроатозом. Ниже рассмотрены некоторые методы, которые в своей основе содержат акустический или визуальный анализы.

В исследованиях [2] доктором биологических наук профессором, профессором Е. К. Еськовым предложен способ диагностики поражение пчелиных семей варроатозом акустическим способом, который основан на регистрации вибраций, генерируемых клещами, которые находятся в ячейках сот. Клещи, находящиеся в ячейках сот, генерируют корот-

кие импульсы, происходящие в интервале частот 0,8–1,8 Гц и представляют собой в основном затухающие колебания, которые делятся около 0,1 с. Их максимальная амплитуда достигает 20 нм. Недостатком предложенного метода является необходимость: вскрывать улей; обеспечивать полное отсутствие пчел на пчелином соте с расплодом; переставлять соты без пчел в специальный улей – инкубатор; обеспечивать полную внешнюю звукоизоляцию.

В исследованиях [3] доктор технических наук, профессор А. Ф. Рыбочкин выявил изменения в амплитудном спектре, полученные с помощью микрофона в ульи.

В диапазоне частот 180–220 Гц здоровая семья имеет уровень шума около 36 дБ, больная – около 53 дБ; в диапазоне 280–320 Гц здоровая семья имеет уровень шума около 67 дБ, больная – около 54 дБ. Так, предложен метод диагностирования заболевания по анализу акустического шума пчел.

Визуальная оценка поражения пчелиных семей варроатозом производится следующим образом. Прозрачную пластиковую коробку наполняют пчелами, закрывают и фотографируют на фоне белого листа бумаги с двух сторон. Далее пчел выпускают обратно в улей, а фото детально просматривают на компьютере, что позволяет подсчитать количество паразитов.

В условиях пасеки визуальная оценка поражения варроатозом производится методом смыва. В стеклянную колбу собирают около 100 пчел. Для этого колбу подносят вплотную к вертикально размещенному соту с пчелами и движениями снизу вверх набирают несколько десятков пчел. При этом важно следить, чтобы в колбу не попала матка. Сбор пчел производят с разных рамок, поскольку распределение клещей в улье неравномерное. Далее в небольшой сосуд наливают кипяченую воду с растворенной натриевой или калийной солью, насыщенной жирными кислотами. Размещение зараженных и здоровых пчел в раствор позволяет отделить пчел и паразитов, после которого производится подсчет количества паразитов к числу медоносных пчел. Существуют и другие аналогичные варианты: на горелку ставят емкость с холодной водой и производят ее нагрев. Затем отобранных пчел помещают в сосуд с нагреваемой водой. При нагревании воды до температуры 40-50 °C происходит отделение клеща от

хитинового покрытия пчелы. Сосуд снимают с огня горелки после того, как вода будет доведена до кипения. Далее производится подсчет пчел и клещей [4; 5].

Таким образом, методы диагностирования пчелиных семей на предмет заболевания варроатозом имеют разнородный несвязный характер по физическому представлению.

### **Постановка задачи**

Отсутствие единого информационного представления о жизнедеятельности пчелиных семей снижает эффективность принятия решений о степени заболевания, а также децентрализация в системе управления пасечными хозяйствами не предоставляет возможности оперативного определения и контроля состояний пчелиных семей в регионе. Синтез инфологической системы информационно-аналитического управления в пчеловодческой деятельности и методов идентификации заболеваний, в частности варроатоза, является своевременным научно-техническим решением в автоматизации производственных процессов.

### **Материалы и методы**

В основу автоматизированной идентификации заболевания варроатоза пчел положена инфологическая система, которая состоит из *частотно-временного, семантического, ассоциативно-онтологического уровней*.

На первом уровне (частотно-временном) исходные сигналы обрабатываются программой инфологического анализа, в процессе обработки которой получаются одномерные и двумерные массивы с наиболее информативными данными об исследуемом объекте.

В качестве решаемых задач частотно-временного анализа выделяются следующие: выделение компонент; изменение размеров анализируемых фрагментов (масштабирование); выделение контуров фрагментов изображений; комплексирование изображений, получаемых в различных диапазонах длин волн.

Для улучшения визуального качества снимков и компенсации искажений на изображениях применяются различные методы цифровой обработки сигналов как в пространственной, так и частотной областях [6; 7].

Из работы [8] выявлено, что наибольшей устойчивостью к воздействию флюктуационного шума обладает *субполосный псевдоградиентный оператор (СПО)*.

Способ получения СПО заключается в следующем.

Символ  $f_{ik}$ ,  $i=1,..,N$ ;  $k=1,..,M$  означает значение интенсивности изображения в точке (пикселе) с координатами  $(i, k)$ , а само изображение как совокупность пикселей (либо его фрагмент) обозначается символом  $\Phi$ , имея в виду соответствие

$$\Phi = \{ f_{ik} \}, i=1,..,N; k=1,..,M. \quad (1)$$

Трансформанта Фурье-изображения определяется соотношением

$$\begin{aligned} F(x, y) &= \\ &= \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N f_{ik} \exp(-jx(i-1)) \exp(-jy(k-1)). \end{aligned} \quad (2)$$

Часть энергии  $E_{sr}$  изображения определяется

$$E_{sr} = \iint_{(x,y) \in V_{sr}} \frac{1}{4\pi^2} |F(x, y)|^2 dx dy, \quad (3)$$

попадающие в двумерную область пространственной частоты (ПЧ)

$$V_{sr} = \{ (x \in [-u_{s2}, -u_{s1}) \cup [u_{s1}, u_{s2}]) \cap (y \in [-v_{r2}, -v_{r1}) \cup [v_{r1}, v_{r2}]) \}. \quad (4)$$

Здесь имеется в виду, что переменная  $x$  принимает значения из интервала ПЧ оси абсцисс плоскости ПЧ:

$$D_s = [-u_{s2}, -u_{s1}) \cup [u_{s1}, u_{s2}), \quad (5)$$

тогда как одновременно переменная  $y$  попадает в следующий интервал оси ординат:

$$G_r = [-v_{r2}, -v_{r1}) \cup [v_{r1}, v_{r2}). \quad (6)$$

При постановке задачи оценивания частных производных значений изображения имеется в виду, что на самом деле зарегистрированные данные являются выборкой из фрагмента некоторой непрерывной и дифференцируемой по каждой из координат поверхности, размеры которой не ограничиваются сектором обзора.

Исходные интервалы дискретизации равны изменениям соответствующих индексов, то есть принимаются равными единице.

Под двумерной интерполяцией изображений понимается вычисление непрерывной двумерной функции  $u(x, y)$  с областью определения

$$x \in [0, N]; y \in [0, M], \quad (7)$$

и при целочисленных значениях аргументов (узлах интерполяции), удовлетворяющую условиям

$$z(i, k) = f_{ik}, i=1,..,N; k=1,..,M. \quad (8)$$

Положим

$$\begin{aligned} Z(x, y) &= \\ &= \int_0^N \int_0^M z(t, v) \exp(-jtx) \exp(-jvy) dt dv. \end{aligned} \quad (9)$$

Потребуем наряду с равенствами (8) выполнения вариационного условия

$$\begin{aligned} \varphi(Z) &= \\ &= \int_{(x,y) \in V_{sr}} \frac{1}{4\pi^2} |F(x, y) - Z(x, y)|^2 dx dy +, \\ &+ \int_{(x,y) \notin V_{sr}} \frac{1}{4\pi^2} |Z(x, y)|^2 dx dy = \min, \end{aligned} \quad (10)$$

где минимум ищется по всем непрерывным двумерным функциям непрерывных аргументов с соответствующей областью определения.

Отметим, что функционал (10) определяет меру отклонения трансформанты Фурье искомой функции от трансформанты Фурье дискретного изображения в пределах выбранного интервала ПЧ и от нуля вне его. При этом задачу вида

(10) необходимо решать для каждого из информационных частотных диапазонов.

В частности, при выборе частотных диапазонов, исходя из равенств:

$$u_{r1} = 2i\pi, \quad u_{r2} = (2i+1)\pi, i=1,2,.., \quad (11)$$

$$v_{s1} = 2k\pi, \quad v_{s2} = (2k+1)\pi, k=1,2,.., \quad (12)$$

нетрудно получить выражения для дифференцирования в исходных пикселях:

$$\begin{aligned} \partial z(t, v) / \partial t &\Big|_{t=k} = \\ &= 2 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1, n \neq k}^N f_{nm} a(v-m) / (k-n). \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \partial z(t, v) / \partial v &\Big|_{v=i} = \\ &= 2 \sum_{m=1, m \neq i}^M \sum_{n=1}^N f_{nm} a(t-n) / (i-n). \end{aligned} \quad (14)$$

Используя (13), (14) при выполнении условий (11) и (12), получаем соотношения для оценок частных производных в точке с координатами  $(ik)$ :

$$D_L^x = \sum_{n=k-L}^{k-1} f_{in} / (n-k) + \sum_{n=k+1}^{k+L} f_{in} / (n-k), \quad (15)$$

$$D_L^y = \sum_{n=i-L}^{i-1} f_{nk} / (n-i) + \sum_{n=i+1}^{i+L} f_{nk} / (n-i), \quad (16)$$

здесь  $L$  – количество обрабатываемых пикселей при выполнении оценки частных производных в точке с координатами  $(ik)$ .

На основании представленных субполосных оценок первых частных производных изображений разработан так называемый субполосный псевдоградиентный оператор (СПО) вида

$$D_L = |D_L^x| + |D_L^y|, \quad (17)$$

где  $D_L^x$  и  $D_L^y$  – результаты субполосного оценивания первых частных производных (15), (16) изображения.

Проведенные вычислительные эксперименты в работе [8] показали, *СПО является эффективным инструментом выделения контуров объекта на изображении, а также дает меньшие искажения результатов по сравнению с псевдоградиентными операторами Робертса, Превитта, Собела к зашумленному изображению.*

Выделение на изображении областей в большинстве случаев основано на методах классификации. При решении задач классификации на изображениях областей является составление описаний (дискрипторов) данных объектов.

Из работы [8] наиболее эффективный метод выделения основан на построении и анализе псевдоградиентов фрагментов изображений. Разработанный метод заключается в группировке по диапазонам направлений субполосных псевдоградиентов (13) – (16) функции яркости в пикселях локальных областей (фрагментов) изображения и базируется на том факте, что распределение направлений и абсолютных значений псевдоградиентов функции яркости на фрагменте изображения позволяет получить представление о форме и структуре объекта, расположенного на выбранном фрагменте.

Предлагаемый метод основан на методе скользящего окна. Ниже представлены итерации метода выделения на изображении области, содержащей пчелу.

На первом этапе определяется размер окна, соответствующего размерности изображения искомого объекта.

Затем подготавливается база прецедентов (шаблонов искомых объектов) в виде информационных псевдоградиентов, вычисленных для искомых объектов.

Для анализа изображения, на котором присутствует искомый объект (пчела), выбираются шаг сдвига окна (по строкам и столбцам пикселей изображения) и коэффициент масштабирования изображения.

Затем размещается окно анализа в начальном положении – левый верхний угол матрицы исследуемого изображения.

После этого выполняется классификация текущего окна: вычисление информационного псевдоградиента фрагмента изображения, соответствующего положению окна анализа, и определение его отличия от прецедентов, хранящихся в базе шаблонов, используя в качестве меры совпадения индекс структурного сходства SSIM. Если на основании анализа значения индекса структурного сходства SSIM принимается решение о наличии объекта в текущем окне, то по-

мешаются параметры окна (текущее положение окна, масштаб изображения и значение меры совпадения, выданное классификатором) в список результатов.

Если окно анализа не достигло конечного положения (правый нижний угол), то производится сдвиг окна на один шаг и переход на предыдущую итерацию.

Если размер изображения превышает размер окна анализа, то производится уменьшение изображения (масштабирование) с заданным коэффициентом масштабирования, размещение окна в начальном положении и переход выше к пункту выполнения классификации текущего окна.

На завершающем шаге выбираются из списка результатов параметры положения окна, соответствующие наибольшему, превышающему заданный порог определения объекту, а также значения меры совпадения.

Предложенный дескриптор обладает свойством инвариантности к изменениям масштаба изображения объекта [8].

*В качестве коэффициента семантической близости изображения в системе целесообразно использовать индекс структурного сходства SSIM.* На основании анализа значения индекса структурного сходства принимается решение о наличии объекта и значение меры совпадения с данными из базы

данных (БД) тематического кластера [9; 10; 11].

При формировании семантического окружения на ассоциативно-онтологическом уровне учитываются сведения только выделенных объектов, которые переместились от одной боковой грани видеоизображения к другой. Этот факт исключает повторный подсчет пчел, которые двигаются возле летка с целью защиты улья от посторонних насекомых, пчел-воровок.

Из работы [12] по анализу акустического сигнала, создаваемого пчелиной семьей, можно определить степень защещёванности варротозом: допустимую, среднюю и большую.

Распознавание состояний пчелиных семей по их акустическому шуму основано на попарном сравнении интенсивностей сигналов, полученных с селективных фильтров. Акустический шум пчелиной семьи усиливается усилителем, который затем поступает на селективные фильтры. Интенсивные составляющие с фильтров сравниваются относительно друг друга на пороговых устройствах. На выходах пороговых устройств формируются коды, которые отображают образы (или формы) спектров. Сочетательное сравнение интенсивностей для четырех узкополосных фильтров<sup>1</sup> отображает 4! кодов [6; 12; 13].

<sup>1</sup> Бабанин И. Г. Процедура проектирования фильтров частотной селекции с учетом

эквивалентных энергетических потерь в радиоприемных устройствах высокоскорост-

Для нахождения мест размещения наиболее информативных частотных полос применяется следующий алгоритм:

– предварительно вычисляется исходная энтропия:

$$H(A) = - \sum_{i=1}^m p_i \log p_i, \quad (18)$$

где  $p_i = 1/m$  – априорные вероятности появления двоичных кодов на выходах блока компараторов;  $m=N!$  – количество кодов.

Затем анализируют акустический сигнал с известными состояниями, подсчитывают количество всех наблюдаемых кодов  $n$ , вычисляют апостериорную энтропию появления параллельных двоичных кодов для всех анализируемых пчелиных семей

$$H\left(\frac{B}{A}\right) = - \sum_{i=1}^n r_i \log r_i, \quad (19)$$

где  $n$  – количество наблюдаемых кодов всех анализируемых пчелиных семей;  $r_i = 1/n$  – апостериорные вероятности появления параллельных двоичных кодов.

Затем вычисляют разницу апостериорной и исходной энтропий ( $H(A) - H(B/A)$ ). Если разница равна нулю, то делают вывод о точной установке частотных полос узкополосных частотных фильтров наиболее информативных местах частотного диапазона акустического сигнала пчелиный семей.

ных радиосистем передачи информации: дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2018. 166 с.

<sup>1</sup> Мохсен Шамсан Ахмед Исмаил. Автоматизированная система диагностики сос-

Из экспериментального анализа акустического шума 20 состояний пчелиных семей с наивысшей энтропией<sup>1</sup> наблюдались коды на наиболее информативных частотных полосах: 210–240 Гц, 300–330 Гц, 390–420 Гц, 420–450 Гц [12; 14; 15; 16].

Вышеприведенный метод, предложенный доктором технических наук, профессором А. Ф. Рыбочкиным, в отличие от спектрального анализа, значительно упрощает диагностирование состояний пчелиных семей. Каждый образ спектра, отражающий бесчисленные вариации спектров, попадающие под определенную форму, кодируется определенным двоичным кодом. Для четырех узкополосных частотных фильтров при относительном сравнении их интенсивностей возможно только 24 кода. Число разрядов кода определяется из  $C_4^2=6$ . Вид кода, который соответствует одному из образов, устанавливается путем поочередного сравнения уровней интенсивностей [12; 13; 16].

При сочетательном сравнении 4-х интенсивных составляющих получен шестиразрядный код (рис. 1). Метод анализа не критичен к помехам, позволяет получать информацию как от частотных, так и от интенсивных составляющих акустических сигналов пчелиных семей.

тояний пчелиных семей на основе анализа форм спектров акустических сигналов: дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2016. 20 с.

111111	77	011110	63	101001	54	110000	30
111011	76	011111	67	101011	56	110100	31
111001	74	001111	47	001011	46	010100	21
111000	70	000110	07	000001	06	000100	01
111100	71	000110	03	000010	04	000000	00
111110	73	010110	23	100001	14	100000	10

**Рис.** Кодировка образов спектров с соответствующими им кодами в двоичной и восьмеричной системах счисления

**Fig.** Encoding of images of spectra with their corresponding codes in binary and octal number systems

После сопоставления с 24 образами спектров получено 12 образов, по которым возможно произвести дифференцировку пчелиных семей, пораженных варроатозом на 2–8 %: образы 77, 76, 74, 70, 71, 73, 54, 56, 46, 06, 04, 14.

После сопоставления с 24 образами спектров получено 12 образов, по которым возможно произвести дифференцировку пчелиных семей, пораженных варроатозом на 50 %: образы 63, 67, 47, 07, 03, 23, 54, 56, 46, 06, 04, 14.

Из результатов исследований видно<sup>1</sup>, что попадания под одну форму анализируемых спектров добиться не удалось [12; 16; 17].

Так, обработка данных, формирование тех или иных образов спектра и их сопоставление с экспериментальными наблюдениями – все это подразумевает семантическую обработку акустических сигналов.

Выходные данные семантического уровня инфологической модели формируют с течением времени, заданного

экспертом, а семантическое окружение – в виде ненаправленного графа. Значение вершин обработки изображений – это логические состояния со значениями «заражен», «здоров». Значение вершин акустической обработки – это логические состояния со значениями степени заражения «0%», «2–8%» «>50%». Вершины по заданным способам наблюдения формируют полно связный граф. Между семантическими окружения в вышеописанных способах наблюдения сформирована ассоциативная связь [18].

Определение степени заражения варроатозом в семантическом окружении оптического наблюдения определяется исходя из следующих допущений: равновероятное появление особей возле регистрирующего оборудования; степень заражения медоносных рабочих пчел экстраполирована на состояние пчел, находящихся только в улее. Степень заражения определяется

$$Varroa_{opt} = n/N, \quad (20)$$

<sup>1</sup> Мохсен Шамсан Ахмед Исмаил. Автоматизированная система диагностики состояний пчелиных семей на основе анализа форм

спектров акустических сигналов: дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2016. 20 с.

где  $n$  – количество заклещеванных пчел в онтологии оптического наблюдения за период времени, установленный экспертом;  $N$  – общее количество пчел в семантическом окружении оптического наблюдения.

Определение подмножества степени заражения варроатозом в семантическом окружении акустического наблюдения осуществляется

$$VP_{akys} = \max \left\{ \frac{a}{N}, \frac{b}{N}, \frac{c}{N} \right\}, \quad (21)$$

где  $a$  – количество реализаций со значением «0%»;  $b$  – количество реализаций со значением «2–8%»;  $c$  – количество реализаций со значением «>50%»;  $N = a+b+c$  – общее количество реализаций за заданный период наблюдения.

Степень заражения по акустическому наблюдению  $Varroa_{akys}$  определяется по минимальному отклонению  $Varroa_{opt}$  от  $VP_{akys}$ .

Формирование онтологии в области степени поражения инвазионной болезнью, вызванной клещом Варроа-Якобсони, пчелиной семьи осуществляется следующим образом:

$$Varroa = \begin{cases} Varroa_{opt}, & \text{если } Varroa_{opt} \subseteq VP_{akys} \\ \frac{Varroa_{opt} + Varroa_{akys}}{2}, & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (22)$$

Так, если статистическое значение оптического наблюдения за выбранный период времени является элементом подмножества статистических значений акустического наблюдения, то принима-

ется решение о степени заражения варроатозом по оптическому наблюдению, в противном случае принимается среднеарифметическое значение по всем наблюдениям.

## Результаты и их обсуждение

В ходе научного исследования выявлено, что существующие методы идентификации поражения пчелиных семей варроатозом, а также способы оценки степени заражения имеют следующие недостатки: нет системной физически разнородной идентификации болезни; разные способы оценки степени заражения дают погрешность до 48%; нет оценки поражения болезнью с использованием средств технического зрения в видимом и инфракрасном диапазонах. Учитывая недостатки, полученные в ходе критического анализа, предложен метод идентификации варроатоза, в основу которого положена трехуровневая модель инфологической системы, позволяющая производить анализ в зависимости типа запроса экспертом, неструктурированных физически разнородных данных. Предложенный метод позволяет производить совокупное определение степени заражения по данным акустического и оптического наблюдениям, что повышает достоверность постановки правильного диагноза.

## Выводы

Метод идентификации заболевания пчелиных семей варроатозом, положенный в инфологическую систему информационно-аналитического управления

пчеловодческими хозяйствами, позволяет сформировать данные о состоянии колоний высокоорганизованных насекомых в регионе, стране для ведомственных учреждений по контролю и предупреждению вирусных и инфекционных заболеваний, а также для крестьянских

(фермерских) хозяйств. Результаты обработки инфологической системой в дальнейшем могут быть использованы для формирования управляющего воздействия на средства биологической обработки.

### Список литературы

1. Домацкий А. Н., Дольникова Т. Ю. Эффективность молочной кислоты при варроатозе на пасеках Тюменской области // Вестник КрасГАУ. 2020. № 12. С. 142-146.
2. Еськов Е. К., Еськова М. Д. Защита пчелиного жилища // Пчеловодство. 2020. № 2. С. 21-23.
3. Рыбочкин А. Ф., Яковлев А. И. Диагностирование объектов по их акустическому шуму // Альтернативная энергетика и экология. 2011. № 7(99). С. 89-101.
4. Dainat B., Vanengelsdorp D., Neumann P. Colony collapse disorder in Europe // Environ. Microbiol. Rep. 2012. Vol. 4. P. 123-125.
5. Кашковский В. Г. Содержание и разведение медоносных пчел Apis Mellifera L. 8-е изд. СПб.: ИП Поспелов М. Б., 2021. 424 с.
6. Бабанин И. Г., Мухин И. Е., Коптев Д. С. Методологические основы выбора параметров фильтров частотной селекции с учетом эквивалентных энергетических потерь в радиоприемных устройствах высокоскоростных радиосистем передачи информации: монография / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2020. 136 с.
7. Хлесткин А. Ю. Информационные системы частотной обработки изображений // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 1-1. С. 94-96.
8. Методологические основы обнаружения малоразмерных летательных аппаратов на основе комплексной субполосной обработки сверхкороткоимпульсных радиолокационных и оптических сигналов: монография / И. И. Олейник, А. А. Черноморец, Д. С. Коптев [и др.]; под общей редакцией В. Г. Андронова; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2021. 204 с.
9. Исследование и разработка научно-технических путей создания инфологической системы информационно-аналитического обеспечения научных исследований: монография / С. Н. Михайлов, С. В. Кулешов, О. Е. Ключникова, А. В. Хмелевская; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2018. 111 с.
10. Михайлов С. Н., Кулешов С. В. Экспертный мониторинг неструктурированных информационных ресурсов в интересах информационно-аналитического обеспечения

космических исследований // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 6 (51), ч. 2. С. 40-43.

11. Кулешов С. В., Зайцева А. А., Марков В. С. Ассоциативно-онтологический подход к обработке текстов на естественном языке // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2015. № 4. С. 40-45.
12. Рыбочкин А. Ф. Методы и алгоритмы автоматизированного контроля состояний пчелиных семей на основании анализа воздействующих на них внешних и внутренних факторов: монография / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2018. 283 с.
13. Дворкович В. П., Дворкович А. В. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика). М.: Техносфера, 2012. 1008 с.
14. Рыбочкин А. Ф. Электронно-вычислительные средства в пчеловодстве: монография / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2019. 335 с.
15. Пат. 2501211 Российская Федерация, А01К 47/00. Способ (варианты) и устройство диагностирования состояний пчелиных семей по их акустическому шуму / Рыбочкин А. Ф., Савельев С. В. Опубл. 20.12. 13, Бюл. № 13.
16. Пат. 2443982 Российская Федерация. Способ диагностирования состояний пчелиных семей по их акустическому шуму / Рыбочкин А. Ф., Праведникова С. В. Опубл. 27.02.12, Бюл. № 6.
17. Кулешов С. В., Михайлов С. Н. Вариант архитектуры субпоисковой системы для реализации функции аналитического мониторинга // Труды СПИИРАН. 2013. № 8(81). С. 247-252.
18. Томакова Р. А., Шаталова О. В., Томаков М. В. Теоретико-множественный подход и теория графов в обработке сложноструктурных изображений: монография / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2012. 117 с.

## References

1. Domatsky A. N., Dolnikova T. Y. Effektivnost' molochnoi kislotoy pri varroatoze na pasekakh Tyumenskoi oblasti [The effectiveness of lactic acid in varroatosis in apiaries of the Tyumen region]. *Vestnik KrasGAU = Bulletin of KrasGAU*, 2020, no. 12, pp. 142-146.
2. Eskov E. K., Eskova M. D. Zashchita pchelinogo zhilishcha [Protection of the bee dwelling]. *Pchelovodstvo = Beekeeping*, 2020, no. 2, pp. 21-23.
3. Rybochkin A. F., Yakovlev A. I. Diagnostirovanie ob'ektov po ikh akusticheskому shumu [Diagnosing objects by their acoustic noise]. *Al'ternativnaya energetika i ekologiya = Alternative Energy and Ecology*, 2011, no. 7(99), pp. 89-101.
4. Dainat B., Vanengelsdorp D., Neumann P. Colony collapse disorder in Europe. *Environ. Microbiol. Rep.*, 2012, vol. 4, pp. 123-125.

5. Kashkovsky V. G. Soderzhanie i razvedenie medonosnykh pchel Apis Mellifera L. [Maintenance and breeding of honey bees Apis Mellifera L.]. 8<sup>th</sup> ed. St. Petersburg, IP Pospelov M. B. Publ., 2021. 424 p.
6. Babanin I. G., Mukhin I. E., Koptev D. S. Metodologicheskie osnovy vybora parametrov fil'trov chastotnoi selektsii s uchetom ekvivalentnykh energeticheskikh poter' v radiopriemnykh ustroistvakh vysokoskorostnykh radiosistem peredachi informatsii [Methodological foundations for the selection of parameters of frequency selection filters taking into account equivalent energy losses in radio receivers of high-speed radio information transmission systems]. Kursk, Southwest State University Publ., 2020. 136 p.
7. Khlestkin A. Yu. Informatsionnye sistemy chastotnoi obrabotki izobrazhenii [Information system frequency image processing]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk = Actual Problems of Humanitarian and Natural Sciences*, 2015, no. 1-1, pp. 94-96.
8. Oleynik I. I., Chernomorets A. A., Koptev D. S., eds. Metodologicheskie osnovy obnaruzheniya malorazmernykh letatel'nykh apparatov na osnove kompleksnoi subpolosnoi obrabotki sverkhkorotkoimpul'snykh radio-lokatsionnykh i opticheskikh signalov [Methodological foundations of detection of small-sized aircraft based on complex subband processing of ultrashort pulse radar and optical signals]; ed. by V. G. Andronov. Kursk, Southwest State University Publ., 2021. 204 p.
9. Mikhailov S. N., Kuleshov S. V., Klyuchnikova O. E., Chmielewska A. V. Issledovanie i razrabotka nauchno-tehnicheskikh putei sozdaniya infologicheskoi sistemy informatsionno-analiticheskogo obespecheniya nauchnykh issledovanii [The research and development of scientifically-tehnicheskikh ways to create a conceptual system of information and analytical support of scientific research]. Kursk, Southwest State University Publ., 2018. 111 p.
10. Mikhailov, S. N., Kuleshov S. V. Ekspertnyi monitoring nestrukturirovannykh informatsionnykh resursov v interesakh informatsionno-analiticheskogo obespecheniya kosmicheskikh issledovanii [Expert monitoring of unstructured information resources in the interests of information and analytical support for space research]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceeding of the Southwest State University*, 2013, no. 6 (51), pt. 2, pp. 40-43.
11. Kuleshov S. V., Zaitseva A. A., Markov V. S. Variant arkhitektury subpoiskovoi sistemy dlya realizatsii funktsii analiticheskogo monitoringa [Associative-ontological approach to text processing in natural language]. *Intellektual'nye tekhnologii na transporte = Intelligent Technologies in Transport*, 2015, no. 4, pp. 40-45.
12. Rybochkin A. F. Metody i algoritmy avtomatizirovannogo kontrolya sostoyanii pchelinykh semei na osnovanii analiza vozdeistvuyushchikh na nikh vneshnikh i vnutrennikh

faktorov [Methods and algorithms of automated control of bee colonies based on the analysis of external and internal factors affecting them]. Kursk, Southwest State University Publ., 2018. 283 p.

13. Dvorkovich V. P., Dvorkovich A. V. Tsifrovye videoinformatsionnye sistemy (teoriya i praktika) [Digital video information systems (theory and practice)]. Moscow, Technosphere Publ., 2012. 1008 p.

14. Rybochkin A. F. Elektronno-vychislitel'nye sredstva v pchelovodstve [Electronic computing tools in beekeeping]. Kursk, Southwest State University Publ., 2019. 335 p.

15. Rybochkin A. F., Savelyev S. V. Sposob (varianty) i ustroistvo diagnostirovaniya sostoyanii pchelinykh semei po ikh akusticheskому shumu [Method (variants) and device for diagnosing the conditions of bee colonies by their acoustic noise]. Patent RF, no. 2501211, 2013.

16. Rybochkin A. F., Pravodnikova S. V. Sposob diagnostirovaniya sostoyanii pchelinykh semei po ikh akusticheskому shumu [A method for diagnosing the conditions of bee colonies by their acoustic noise]. Patent RF, no. 2443982, 2012.

17. Kuleshov S. V., Mikhailov S. N. Assotsiativno-ontologicheskii podkhod k obrabotke tekstov na estestvennom yazyke [A variant of the architecture of a sub search engine for the implementation of the analytical monitoring function]. *Trudy SPIIRAN = Proceedings of SPIIRAN*, 2013, no. 8(81), pp. 247-252.

18. Tomakova R. A., Shatalova O. V., Tomakov M. V. Teoretiko-mnozhestvennyi podkhod i teoriya grafov v obrabotke slozhnostrukturiruemymkh izobrazhenii [The set-Theoretic approach and graph theory in the treatment of konstruktorius images]. Kursk, Southwest State University Publ., 2012. 117 p.

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Бабанин Иван Геннадьевич**, кандидат  
технических наук, доцент кафедры  
космического приборостроения и систем связи,  
Юго-Западный государственный университет,  
г. Курск, Российская Федерация,  
e-mail: babanin\_ivan@bk.ru

**Ivan G. Babanin**, Cand. of Sci. (Engineering),  
Associate Professor of the Department of Space  
Instrumentation and Communication Systems,  
Southwest State University, Kursk, Russian  
Federation,  
e-mail: babanin\_ivan@bk.ru

**Севрюков Александр Евгеньевич**, доцент кафедры космического приборостроения и систем связи, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: alsevryukov@yandex.ru

**Хмелевская Алена Валентиновна**, старший преподаватель кафедры космического приборостроения и систем связи, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: aquarel85@mail.ru

**Aleksandr E. Sevryukov**, Associate Professor of the Department of Space Instrumentation and Communication Systems, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: alsevryukov@yandex.ru

**Alena V. Khmelevskaya**, Senior Lecture of the Department of Space Instrumentation and Communication Systems, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: aquarel85@mail.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-196-211>



## Алгоритм настройки нечеткого логического вывода в медицинских информационных системах, основанных на знаниях

М. С. Голосовский<sup>1</sup> , А. Б. Юдин<sup>1</sup>, В. Р. Медведев<sup>1</sup>, С. Н. Васягин<sup>1</sup>,  
Е. В. Евтушенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины  
Министерства обороны Российской Федерации  
ул. Лесопарковая 4, г. Санкт-Петербург 4195043, Российская Федерация

<sup>2</sup> Черноморское высшее военно-морское училище имени П. С. Нахимова  
ул. Дыбенко 1а, г. Севастополь 299028, Российская Федерация

e-mail: gniivm-g@yandex.ru

### Резюме

**Цель исследования** – совершенствование настройки нечеткого логического вывода в медицинских информационных системах, основанных на знаниях.

**Методы.** Ведущим подходом к исследованию обозначенной проблемы является подстройка правил систем нечеткого логического вывода на основе принципов работы пропорционально-интегрального регулятора.

**Результаты.** Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования медицинских информационных систем путем внедрения технологий искусственного интеллекта. Ключевым элементом таких систем является механизм вывода решений, реализующий логический вывод из предварительно построенной базы фактов и правил в соответствии с законами формальной логики. Эффективность механизма вывода решений существенно зависит от качества его настройки.

В статье представлены алгоритм настройки систем нечеткого логического вывода типа Сугено, позволяющий осуществить подстройку правил систем нечеткого логического вывода с минимизацией времени подстройки и времени перерегулирования, а также результаты исследования зависимости величины ошибки и перерегулирования от величин интегральной и пропорциональной составляющих.

**Заключение.** Разработан алгоритм настройки нечеткого логического вывода в медицинских информационных системах, основанных на знаниях, минимизирующий время подстройки решающих правил и время их перерегулирования.

Материалы статьи представляют практическую ценность для совершенствования информационных систем, основанных на знаниях. Приоритетами дальнейших исследований являются исследования зависимости скорости подстройки решающих правил от формы функций принадлежности входных переменных и величины коэффициента ограничения интегральной составляющей.

**Ключевые слова:** нечеткий логический вывод; адаптивные системы; системы Мамдани; системы Сугено; нечеткая логика; функция принадлежности; пропорционально-интегральный регулятор; медицинская информатика.

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

© Голосовский М. С., Юдин А. Б., Медведев В. Р., Васягин С. Н., Евтушенко Е. В., 2021

**Финансирование:** Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации (НШ-2553.2020.8).

**Для цитирования:** Алгоритм настройки нечеткого логического вывода в медицинских информационных системах, основанных на знаниях / М. С. Голосовский, А. Б. Юдин, В. Р. Медведев, С. Н. Васягин, Е. В. Евтушенко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 196–211. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-196-211>

Поступила в редакцию 10.10.2021

Подписана в печать 07.11.2021

Опубликована 20.12.2021

## Algorithm for Tuning Fuzzy Inference in Medical Information Systems Based on Knowledge

**Mikhail S. Golosovskiy<sup>1</sup>✉, Andrey B. Yudin<sup>1</sup>, Vladimir R. Medvedev<sup>1</sup>,  
Sergey N. Vasyagin<sup>1</sup>, Evgeny V. Yevtushenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> State Research and Testing Institute of Military Medicine of the Ministry of Defense of the Russian Federation  
4 st. Lesoparkovaya, St. Petersburg 195043, Russian Federation

<sup>2</sup> Black Sea Higher Naval School named after P. S. Nakhimov  
1a Dybenko str., Sevastopol 299028, Russian Federation

✉ e-mail: gniivm-g@yandex.ru

### Abstract

**The purpose of research** is to improve the tuning of fuzzy inference in medical information systems based on knowledge.

**Methods.** The leading approach to the study of this problem is the adjustment of the rules of fuzzy inference systems based on the principles of the proportional-integral controller.

**Results.** The relevance of the study is due to the need to improve medical information systems by introducing artificial intelligence technologies. The key element of such systems is the decision inference mechanism, which implements logical inference from a pre-built base of facts and rules in accordance with the laws of formal logic. The efficiency of the decision inference mechanism essentially depends on the quality of its configuration.

The article presents an algorithm for tuning Sugeno-type fuzzy inference systems, which allows adjusting the rules of fuzzy inference systems with minimizing the adjustment time and overshoot time, as well as the results of studying the dependence of the error and overshoot on the values of the integral and proportional components.

**Conclusion.** Development of an algorithm for tuning fuzzy logical inference in medical information systems based on knowledge, which minimizes the time of tuning decision rules and the time of their overshoot.

The materials of the article are of practical value for improving knowledge-based information systems. The priorities for further research are the study of the dependence of the rate of adjustment of the decision rules on the form of the membership functions of the input variables and the value of the limiting factor of the integral component.

**Keywords:** fuzzy inference; adaptive systems; Mamdani systems; Sugeno systems; fuzzy logic; membership function; proportional-integral controller; medical informatics.

**Conflict of interest:** The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Funding:** The study was supported by a grant from the President of the Russian Federation for state support of leading scientific schools of the Russian Federation (NSh-2553.2020.8).

**For citation:** Golosovskiy M. S., Yudin A. B., Medvedev V. R., Vasyagin S. N., Yevtushenko E. V. Algorithm for Tuning Fuzzy Inference in Medical Information Systems Based on Knowledge. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2021; 11(4): 196–211. (In Russ.)

Received 10.10.2021

Accepted 07.11.2021

Published 20.12.2021

## Введение

Информатизация является неотъемлемой частью современного общества. Информационные системы играют всё большую роль практически во всех сферах деятельности человека, начиная от сферы оказания информационных услуг и транспорта и заканчивая сферами производства и медицины. В медицинских организациях под управлением информационных систем находятся такие сферы деятельности, как управление ресурсами, информационное сопровождение пациентов, управление лечебным процессом, в том числе оказание медицинской помощи [1; 2; 3]. При этом всё большую роль в диагностических и системах поддержки принятия решения начинают играть системы искусственного интеллекта. Существует множество направлений развития систем искусственного интеллекта, среди них наибольшую популярность получили системы, основанные на искусственных нейронных сетях, включая глубокие нейронные сети, системы, основанные на деревьях решений, и системы, основанные на продукционных правилах, к

которым относятся системы нечёткого логического вывода (НЛВ) [4; 5; 6; 7; 8]. Одним из преимуществ систем нечёткого логического вывода является возможность интерпретации и корректировки продукционных правил человеком, что особенно важно медицинской сфере, где цена ошибки может быть очень велика.

Использование систем НЛВ приобрело широкое распространение начиная с 1980-х гг [1]. Прикладные решения, основанные на использовании нечетких моделей, широко применяются в промышленности. В медицинских системах использование систем нечеткого логического вывода обусловлено достаточно простой интерпретабельностью результата – возможностью объяснения порядка получения результата в терминах, понятных человеку [9; 10; 11; 12]. Одной из посылок к популяризации нечётких моделей было доказательство того, что системы нечёткого логического вывода являются универсальными аппроксиматорами. Б. Коско доказал теорему о том, что системы НЛВ типа Мамдани могут аппроксимировать любую функцию

нальную зависимость с заданной точностью [13; 14]. Для систем нечёткого логического вывода типа Сугено была доказана аналогичная теорема, подтверждающая возможность систем типа Сугено аппроксимировать с заданной точностью любую функцию.

Алгоритмы настройки систем типа Мамдани рассмотрены в работах [15; 16; 17], но при этом вопрос настройки систем НЛВ типа Сугено полностью не раскрыт [18; 19; 20]. Для настройки систем типа Сугено предлагается использовать принцип пропорционально-интегральных регуляторов (ПИ-регуляторов) [17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26]. Авторами в течение последних лет проведены теоретико-экспериментальные исследования по обоснованию возможностей совершенствования способов настройки систем НЛВ, основанных на наборе продукционных правил [15; 16; 19; 24].

Предложенный в статье алгоритм, использующий в заключениях каждого  $j$ -го правила  $R_j$  константных функций  $b_j = const$ , будет применяться для настройки системы нечёткого логического вывода типа Сугено нулевого порядка. При этом системы НЛВ должны содержать от одной до  $n$  входных переменных и от 2 до  $m$  функций принадлежности к нечёткому множеству в каждой входной переменной.

Нечёткий логический вывод для систем НЛВ типа Сугено состоит из следующих шагов:

1. Шаг фазификации: приведение четких значений каждой  $i$ -й входной переменной  $x_i$  к нечётким значениям, для чего производится вычисление степени истинности выражения:  $x_i$  есть  $A_i^j$  как вычисление значения, соответствующего значению функции  $\mu_{A_i}(x_i)$ , где  $\mu_{A_i}(x_i)$  – функция принадлежности  $i$ -й входной переменной.

2. Шаг нечеткого вывода: используя полученные на этапе 1 значения степеней истинности, вычисляются результирующие значения для каждого  $j$ -го правила из набора в  $m$  правил:

$$R_j : \text{ЕСЛИ } (x_1 \text{ есть } A_1^j), \dots, \\ I(x_n \text{ есть } A_n^j) \text{ ТО } y \text{ есть } b_j, \quad (1)$$

где  $I$  – операция пересечения нечетких множеств ( $t$ -норма). В работе в качестве оператора  $t$ -нормы будет использоваться оператор умножения (оператор MIN);  $b_j$  – заключение  $j$ -го правила  $R_j$ . Для систем Сугено нулевого порядка в качестве заключения используются константные значения  $b_j = const$ .

3. Шаг дефазификации: получение четкого значения. Для систем Сугено нулевого порядка вычисление четкого значения выполняется по формуле

$$y = \frac{\sum_{j=1}^N w_j b_j}{\sum_{j=1}^N w_j}, \quad (2)$$

где  $w_j$  – степень срабатывания  $j$ -го правила.

## Материалы и методы

Для обеспечения возможности подстройки нечеткой модели типа Сугено по принципу пропорционально-интегрального регулятора с ограничением интегральной составляющей должны выполняться следующие условия для входных и выходной переменных:

1) число входных функций принадлежности  $m$  должно быть больше или равно двум:  $m \geq 2$ ;

2) центры (ядра) входных функций принадлежности должны быть равномерно расположены на всей области определения. При этом расстояние между центрами функций принадлежности  $\Delta x$  вычисляется по формуле

$$\Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{m - 1}, \quad (3)$$

где  $x_{\max}$  – верхняя граница области определения входной переменной;  $x_{\min}$  – нижняя граница области определения выходной переменной. В предельном случае для числа функций принадлежности, равным двум, центры функций принадлежности будут совпадать с границами области определения;

3) Значение истинности в точке пересечения двух соседних входных функций принадлежности  $x_k$  равно 0,5:  $\mu(x_k) = 0,5$ .

При задании функции принадлежности гауссова типа

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2a^2}}, \quad (4)$$

где параметр  $a$  рассчитывается по формуле 5 и отвечает за ширину функции принадлежности входной переменной;  $b$  – координата ядра функции принадлежности.

$$a = \frac{b - (\frac{\Delta x}{2})}{\sqrt{2 \ln 0,5}}. \quad (5)$$

В случае, если в системе нечёткого логического вывода используются треугольные функции принадлежности, то рекомендуется выполнение условия, при котором граничные значения функции принадлежности будут совпадать со значениями ядер соседних функций принадлежности.

Общая схема системы для реализации алгоритма представлена на рисунке 1.

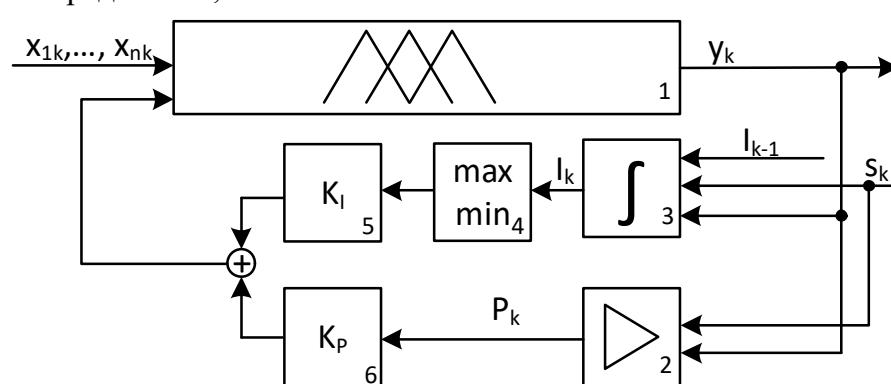


Рис. 1. Общая схема системы для реализации алгоритма

Fig. 1. General scheme of the system for the implementation of the algorithm

На этой схеме в блоке 1 представлена система нечеткого логического вывода, подстройка которой будет проводиться. На схеме  $k$  – номер эпохи, который выражается как единичный проход алгоритма с корректировкой параметров системы нечеткого логического вывода. В первой эпохе корректировка системы НЛВ не производится, так как отсутствуют данные для ее выполнения.

Блок 2 используется с целью вычисления пропорциональной ошибки  $P_{kj}$  в каждой эпохе  $k$  для каждого  $j$ -го правила нечеткого логического вывода по формуле

$$P_{kj} = w_{kj}(y_k - s_k). \quad (6)$$

Блок 3 используется для расчёта накапливаемой (интегральной) ошибки  $I_{kj}$  для каждого  $j$  правила по формуле

$$I_{kj} = \sum_{k=1}^N w_{kj}(y_k - s_k), \quad (7)$$

где  $y_k$  – выход системы нечеткого логического вывода полученный в  $k$ -й эпохе;  $s_k$  – ожидаемое значение от системы в  $k$ -й эпохе для заданного значения входной переменной на которое надо настроить выход системы;  $w_{kj}$  – уровень активации  $j$ -го правила вычисляется по формуле

$$w_{kj} = T \left( \mu_{A1j}(x_{1k}), \mu_{A2j}(x_{2k}), \dots, \mu_{Anj}(x_{nk}) \right), \quad (8)$$

где  $T$  – операция вычисления  $t$ -нормы. В качестве  $t$ -нормы в работе использована

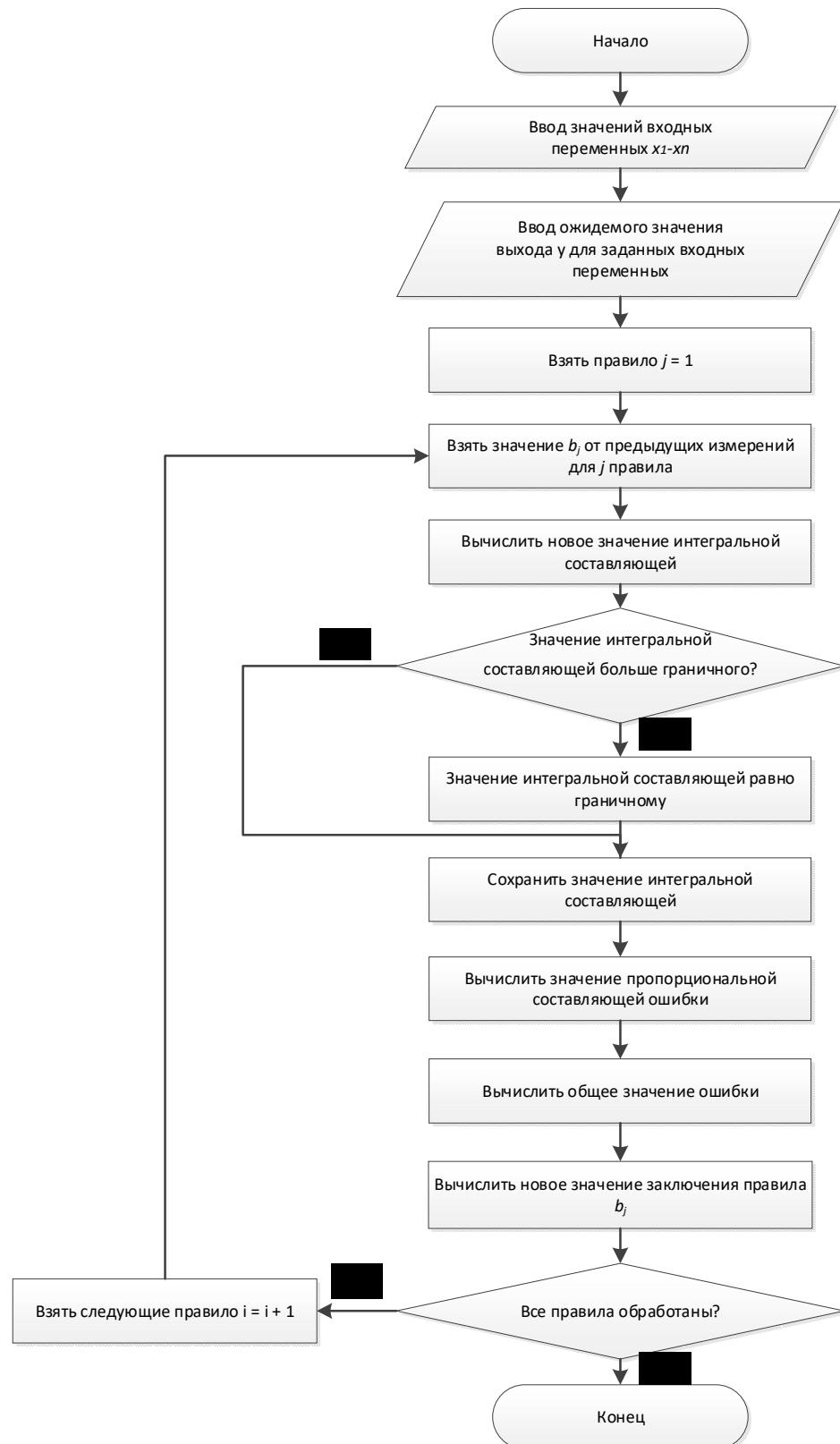
операция MIN, но возможно использовать другие варианты  $t$ -норм, такие как оператор произведения или оператор усиленного произведения. В блоке 4 производится операция ограничения интегральной составляющей. Для уменьшения значения перерегулирования введем ограничение интегральной составляющей  $I_s$  как коэффициента, обеспечивающего выполнение условия (9). В этом случае сохраняется скорость подстройки, но уменьшается амплитуда перерегулирования.

$$I_s > I_k > -I_s. \quad (9)$$

В блоке 5 полученное значение интегральной ошибки  $I_k$  умножается на коэффициент интегральной составляющей  $K_I$ . В блоке 6 полученное значение пропорциональной ошибки  $P_k$  умножается на коэффициент пропорциональной составляющей  $K_p$ , после чего происходит суммирование полученных значений пропорциональных и интегральных ошибок и выполняется корректировка параметров системы нечеткого логического вывода.

## Результаты и их обсуждение

Алгоритм подстройки основан на изменении значения константы функции заключения для правила логического вывода и для одной  $k$ -й эпохи состоит из следующих шагов (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема алгоритма подстройки нечеткой системы

**Fig. 2.** Scheme of the fuzzy system adjustment algorithm

1. Для входных переменных  $[x_{1k}, x_{nk}]$  взять соответствующее им значение выходной переменной, рассчитанное с использованием системы НЛВ, –  $y_k$  и ожидаемое  $s_k$ , которое требуется от системы НЛВ при заданных значениях входных переменных. Здесь  $k$  – номер эпохи для заданного фиксированного значения входных переменных.

2. Взять первое правило в системе нечеткого логического вывода.

3. Произвести вычисление значения интегральной ошибки по формуле (7).

4. Проверить выполнение условия (9) для интегральной ошибки: при превышении граничного значения установить значение интегральной ошибки, равной граничному значению.

5. Вычислить значение пропорциональной составляющей по формуле (6).

6. Вычислить общее значение ошибки как суммы пропорциональной и интегральной ошибок, умноженных на интегральный ( $K_I$ ) и пропорциональный ( $K_P$ ) коэффициенты, используемые для изменения скорости реагирования на изменение ошибки:

$$E_{ij} = K_I R_{ij} + K_P P_{ij}. \quad (10)$$

7. Произвести корректировку параметра  $b_j$  функции заключения  $j$ -го правила по формуле

$$b_j = b_j + E_{ij}. \quad (11)$$

8. Все правила обработаны? Если «да», то завершение работы алгоритма.

Если «нет», то взять следующее правило и перейти к шагу 3.

Для первой эпохи предложенный алгоритм не применяется – вычисляются только выходные значения системы НЛВ. Далее в алгоритме применяется заданное количество эпох или до достижения заданной величины ошибки.

Для проверки эффективности предложенного алгоритма при разных значениях коэффициентов  $K_I$  и  $K_P$  была использована система нечеткого логического вывода типа Сугено с одним входом и одним выходом.

Область определения входной переменной  $[0, 10]$ . У входной переменной использовалось 7 функций гауссова типа, на основе которых создавалось 7 продукционных правил.

Первоначально продукционные правила настроены таким образом, что система НЛВ для входного значения  $x = 3,8$  выдает значение  $y = 2$ . После этого, начиная со второй эпохи, ожидаемое значение (эталонное значение) устанавливается в значении 6 и производится настройка системы с использованием предложенного алгоритма на достижение эталонного значения.

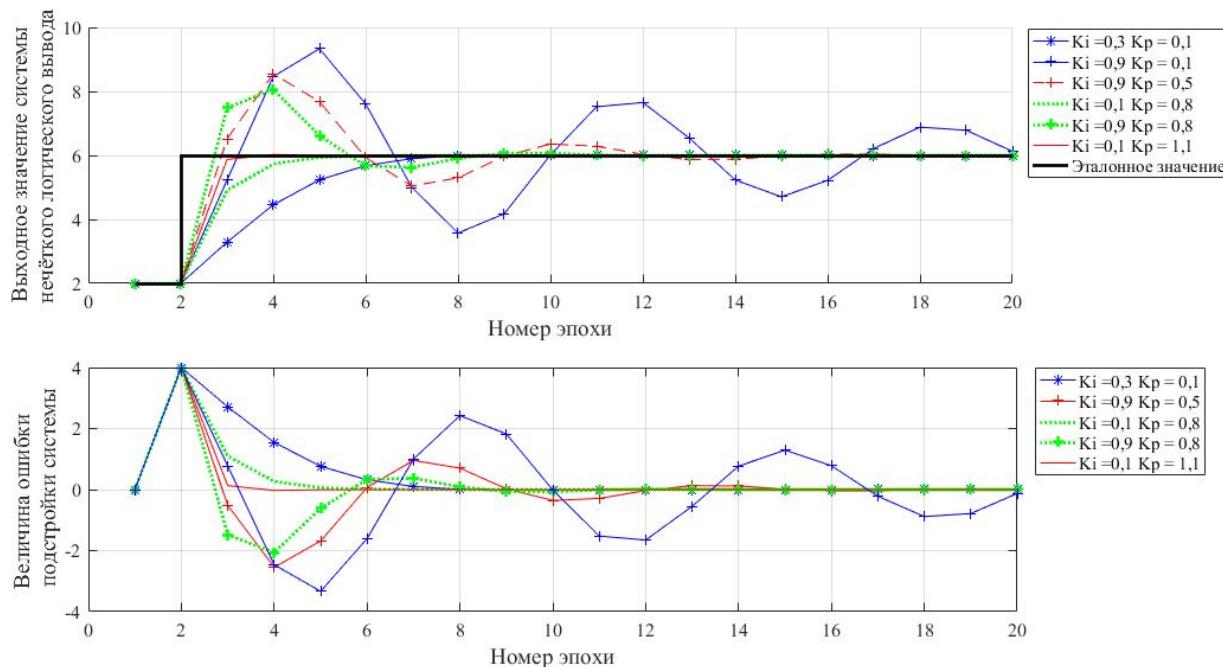
В таблице приведены значения коэффициентов регулятора  $K_I$  и  $K_P$ , номер эпохи  $N_{\text{ep}}$ , начиная с которой значение ошибки не превышало 1% от эталонного значения, максимальное значение модуля величины ошибки, начиная с третьей эпохи  $E_{\text{max}}$ .

**Таблица.** Значения показателей в зависимости от коэффициентов регулятора**Table.** Values of indicators depending on the coefficients of the regulator

№	$K_I$	$K_P$	$N_{\text{эн}}$	$E_{\text{max}}$
1	0,3	0,1	7	2,74
2	0,9	0,1	31	3,27
3	0,9	0,5	12	2,43
4	0,1	0,8	4	0,56
5	0,9	0,8	8	2
6	0,1	1,1	4	0,2

Графики изменения выходных значений системы и значений абсолютной величины ошибки системы в зависимо-

сти от эпохи для различных коэффициентов регулятора приведены ниже (рис. 3).



**Рис. 3.** Графики изменения выходных значений системы и значений абсолютной величины ошибки системы в зависимости от эпохи для различных коэффициентов регулятора

**Fig. 3.** Graphs of changes in the output values of the system and values of the absolute value of the system error depending on the epoch for various coefficients of the controller

Результаты моделирования позволяют сделать вывод о том, что предложенный алгоритм позволяет осущес-

твить настройку системы нечеткого логического вывода типа Сугено на соответствие требуемому значению. При

этом в зависимости от значений коэффициентов подстройка может происходить с разной скоростью и разной величиной перерегулирования. Эта характеристика может быть важна в случае использования системы НЛВ для моделирования процессов реального мира, обладающих разной степенью инертности.

## **Выводы**

Предложенный алгоритм позволяет выполнить настройку систем логического вывода типа Сугено. В зависимости от различных коэффициентов регу-

лятора, используемых для настройки системы НЛВ, можно получить разную скорость настройки. В рассмотренных случаях наибольшая скорость настройки была достигнута при значении интегрального и пропорционального коэффициентов порядка 0,8-0,9.

В качестве дальнейшей проработки темы исследования планируется рассмотреть зависимость скорости подстройки от формы функций принадлежности входных переменных и величины коэффициента ограничения интегральной составляющей.

## **Список литературы**

1. Максимов И. Б., Столляр В. П., Богомолов А. В. Прикладная теория информационного обеспечения медико-биологических исследований. М.: Бином, 2013. 312 с.
2. Нечеткое моделирование медицинских экспертных систем / Т. М. Леденева, С. Л. Подвальный, Р. К. Стрюков, С. В. Дегтярев // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 9. С. 16-24.
3. Интеллектуальная поддержка выбора схем лечебной стабилизации при смешанном ишемическом поражении / А. В. Быков, Н. А. Кореневский, С. Н. Родионова, М. В. Артеменко // Медицинская техника. 2020. № 4 (322). С. 49-52.
4. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.
5. Fuzzy adaptive control system of a non-stationary plant with closed-loop passive identifier / F. Manentia, F. Rossia, A. Goryunov, A. Dyadik, K. Kozin, I. Nadezhdin, S. Mikhalevich // Resource-Efficient Technologies. 2015. Vol. 1, N 1. P. 10–18.
6. Прогностические аспекты оценивания риска здоровью персонала химически опасных объектов / И. Б. Ушаков, И. В. Бухтияров, С. К. Солдатов, Ю. А. Кукушкин, А. В. Богомолов, А. С. Сипаков // Безопасность жизнедеятельности. 2009. № 12 (108). С. 2-7.
7. Fuzzy prediction and early detection of stomach diseases by means of combined iteration fuzzy models / R. T. Al-Kasasbeh, N. Korenevskiy, E. Boitcova, M. S. Alshamasin, F. Ionescu, E. Al-Kasasbeh // International Journal of Biomedical Engineering and Technology. 2019. Vol. 30, N 3. P. 228-254.

8. Леденева Т. М. О решении задачи диагностики на основе нечеткого моделирования // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2011. Т. 18, № 2. С. 298-299.
9. Maistrou A. I., Bogomolov A. V. Technology of automated medical diagnostics using fuzzy linguistic variables and consensus ranking methods // World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering: Diagnostic and Therapeutic Instrumentation, Clinical Engineering. IFMBE Proceedings. Munich, 2009. P. 38-41.
10. Risk-metric staff health facilities for the disposal of chemical weapons / Yu. Kukushkin, A. Vorona, A. Bogomolov, S. Chistov // Health Risk Analysis. 2014. N 3. P. 26-34.
11. Korenevskiy N. A., Krupchatnikov R. A., Gorbatenko S. A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems // Open Biomedical Engineering Journal. 2015. Vol. 42, N 2. P. 67.
12. Леденева Т. М., Моисеев С. А. Формализация свойств интерпретируемых лингвистических шкал и термов нечетких моделей // Прикладная информатика. 2012. № 4 (40). С. 126-132.
13. Kosko B. Fuzzy systems as universal approximators // IEEE Transactions on Computers. 1994. Vol. 43, N 11. P. 1329-1333.
14. Kosko B. Global stability of generalized additive fuzzy systems // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part C: Applications and Reviews. 1998. Vol. 28, N 3. P. 441-452.
15. Голосовский М. С. Алгоритм локальной настройки систем нечеткого логического вывода типа Мамдани с сохранением интерпретабельности производственных правил // Управление большими системами: сборник трудов / Институт проблем управления имени В. А. Трапезникова РАН. М., 2018. Вып. 74. С. 6-22.
16. Алгоритм настройки системы нечеткого логического вывода типа Мамдани / М. С. Голосовский, А. В. Богомолов, Д. С. Теребов, Е. В. Евтушенко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. 2018. Т. 10, № 3. С. 19-29.
17. Кудинов Ю. И., Келина А. Ю. Методы синтеза и настройки нечетких ПИД регуляторов Мамдани // Информационные технологии. 2012. № 6. 32 с.
18. Кочергин Е. В., Леденева Т. М., Алтухов А. В. Об одном подходе к аппроксимации функции с помощью систем Takagi-Sugeno // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2008. № 2. С. 72-79.
19. Голосовский М. С., Богомолов А. В., Евтушенко Е. В. Алгоритм настройки систем нечеткого логического вывода типа Сугено // Научно-техническая информация. Серия. 2: Информационные процессы и системы. 2021. № 5. С. 1-11.

20. Dagaeva M., Katasev A. Fuzzy rules reduction in knowledge bases of decision support systems by objects state evaluation // Studies in Systems, Decision and Control. 2021. Vol. 338. P. 113-123.
21. Катасев А. С. Нейронечеткая модель и программный комплекс автоматизации формирования нечетких правил для оценки состояния объектов // Автоматизация процессов управления. 2019. № 1 (55). С. 21-29.
22. Диагностика состояния человека: математические подходы / А. В. Богомолов, Л. А. Гридин, Ю. А. Кукушкин, И. Б. Ушаков. М.: Медицина, 2003. 464 с.
23. Катасев А. С. Методы формирования нечетких моделей оценки состояния объектов в условиях неопределенности // Математические методы в технике и технологиях. 2019. Т. 2. С. 111-118.
24. Голосовский М. С., Богомолов А. В., Баландов М. Е. Алгоритм настройки систем нечёткого логического вывода типа Сугено на основе метода ближайших соседей // Математические методы в технологиях и технике. 2021. № 6. С. 108-112.
25. Тобин Д. С., Голосовский М. С., Богомолов А. В. Технология обеспечения достоверности информации при проведении сетевых экспертиз // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2020. Т. 16, № 3. С. 623-632.
26. Катасев А. С. Технология формирования нечетких моделей оценки состояния объектов в условиях неопределенности // Математические методы в технике и технологиях. 2020. Т. 4. С. 118-121.

## References

1. Maksimov I. B., Stolyar V. P., Bogomolov A. V. Prikladnaya teoriya informatsionnogo obespecheniya mediko-biologicheskikh issledovanii [Applied theory of information support for biomedical research]. Moscow, Binom Publ., 2013. 312 p.
2. Ledeneva T. M., Podvalny S. L., Stryukov R. K., Degtyarev S. V. Nechetkoe modelirovanie meditsinskikh ekspertnykh sistem [Fuzzy modeling of medical expert systems]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2016, no. 9, pp. 16-24.
3. Bykov A. V., Korenevsky N. A., Rodionova S. N., Artemenko M. V. Intellektual'naya podderzhka vybora skhem lechebnoi stabilizatsii pri smezshannom ishemicheskom porazhenii [Intellectual support for the choice of therapeutic stabilization schemes for mixed ischemic lesions]. *Meditinskaya tekhnika = Medical Technology*, 2020, no. 4 (322), pp. 49-52.
4. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie [Fuzzy modeling and control]. Moscow, Binom. Knowledge Laboratory Publ., 2013. 798 p.
5. Manentia F., Rossia F., Goryunov A., Dyadic A., Kozin K., Nadezhdin I., Mikhalevich S. Fuzzy adaptive control system of a non-stationary plant with closed-loop passive identifier. *Resource-Efficient Technologies*, 2015, vol. 1, no. 1, pp. 10-18.

6. Ushakov I. B., Bukhtiyarov I. V., Soldatov S. K., Kukushkin Yu. A., Bogomolov A. V., Sipakov A. S. Prognosticheskie aspekty otsenivaniya riska zdorov'yu personala khimicheskikh opasnykh ob'ektorov [Predictive aspects of assessing the health risk of personnel of chemically hazardous facilities]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti = Life Safety*, 2009, no. 12 (108), pp. 2-7.
7. Al-Kasasbeh R. T., Korenevskiy N., Boitcova E., Alshamasin M. S., Ionescu F., Al-Kasasbeh E. Fuzzy prediction and early detection of stomach diseases by means of combined iteration fuzzy models. *International Journal of Biomedical Engineering and Technology*, 2019, vol. 30, no. 3, pp. 228-254.
8. Ledeneva T. M. O reshenii zadachi diagnostiki na osnove nechetkogo modelirovaniya [On the solution of the diagnostic problem based on fuzzy modeling]. *Obozrenie prikladnoi i promyshlennoi matematiki = Review of Applied and Industrial Mathematics*, 2011, vol. 18, no. 2, pp. 298-299.
9. Maistrou A. I., Bogomolov A. V. Technology of automated medical diagnostics using fuzzy linguistic variables and consensus ranking methods. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering: Diagnostic and Therapeutic Instrumentation, Clinical Engineering. IFMBE Proceedings. Munich, 2009, pp. 38-41.
10. Kukushkin Yu., Vorona A., Bogomolov A., Chistov S. Risk-metriyc staff health facilities for the disposal of chemical weapons. *Health Risk Analysis*, 2014, no. 3, pp. 26-34.
11. Korenevskiy N. A., Krupchatnikov R. A., Gorbatenko S. A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems. *Open Biomedical Engineering Journal*, 2015, vol. 42, no. 2, pp. 67.
12. Ledeneva T. M., Moiseev S. A. Formalizatsiya svoistv interpretiruemikh lingvisticheskikh shkal i termov nechetkikh modelei [Formalization of properties of interpreted linguistic scales and terms of fuzzy models]. *Prikladnaya informatika = Applied Informatics*, 2012, no. 4 (40), pp. 126-132.
13. Kosko B. Fuzzy systems as universal approximators. *IEEE Transactions on Computers*, 1994, vol. 43, no. 11, pp. 1329-1333.
14. Kosko B. Global stability of generalized additive fuzzy systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part C: Applications and Reviews*, 1998, vol. 28, no. 3, pp. 441-452.
15. Golosovsky M. S. [Algorithm for local tuning of systems of fuzzy logical inference of the Mamdani type with preservation of the interpretability of production rules]. Upravlenie bol'shimi sistemami. Sbornik trudov [Management of large systems. Collection of works]. Moscow, Institut problem upravleniya imeni V. A. Trapeznikova RAN Publ., 2018, pp. 6-22. (In Russ.)
16. Golosovsky M. S., Bogomolov A. V., Terebov D. S., Evtushenko E. V. Algoritm nastroiki sistemy nechetkogo logicheskogo vydova tipa Mamdani [Algorithm for tuning a fuzzy

logical inference system of the Mamdani type]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika. Mekhanika. Fizika = Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematics. Mechanics. Physics*, 2018, vol. 10, no. 3, pp. 19-29.

17. Kudinov Yu. I., Kelina A. Yu. Metody sinteza i nastroiki nechetkikh PID reguljatorov Mamdani [Methods of synthesis and tuning of fuzzy PID controllers Mamdani]. *Informatsionnye tekhnologii = Information Technologies*, 2012, no. 6, p. 32.

18. Kochergin E. V., Ledeneva T. M., Altukhov A. V. Ob odnom podkhode k approksimatsii funktsii s pomoshch'yu sistem Takagi-Sugeno [On one approach to approximating a function using Takagi-Sugeno systems]. *Vestnik Voronezhskogo gosu-darstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyi analiz i informatsionnye tekhnologii = Bulletin of the Voronezh State University. Series: System Analysis and Information Technology*, 2008, no. 2, pp. 72-79.

19. Golosovsky M. S., Bogomolov A. V., Evtushenko E. V. Algoritm nastroiki sistem nechetkogo logicheskogo vyvoda tipa Sugeno [Algorithm for tuning systems of fuzzy inference of the Sugeno type]. *Nauchno-tehnicheskaya informatsiya. Seriya. 2: Informatsionnye protsessy i sistemy = Scientific and Technical Information. Series. 2: Information Processes and Systems*, 2021, no. 5, pp. 1-11.

20. Dagaeva M., Katasev A. Fuzzy rules reduction in knowledge bases of decision support systems by objects state evaluation. *Studies in Systems, Decision and Control*, 2021, vol. 338, pp. 113-123.

21. Katasev A. S. Neironechetkaya model' i programmnyi kompleks avtomatiza-tsii formirovaniya nechetkikh pravil dlya otsenki sostoyaniya ob'ektov [Neuro-fuzzy model and software package for automating the formation of fuzzy rules for assessing the state of objects]. *Avtomatizatsiya protsessov upravleniya = Automation of Control Processes*, 2019, no. 1 (55), pp. 21-29.

22. Bogomolov A. V., Gridin L. A., Kukushkin Yu. A., Ushakov I. B. Diagnostika sostoyaniya cheloveka: matematicheskie podkhody [Diagnostics of the human condition: mathematical approaches]. Moscow, Medicine Publ., 2003. 464 p.

23. Katasev A. S. Metody formirovaniya nechetkikh modelei otsenki sostoyaniya ob'ektov v usloviyakh neopredelennosti [Methods for the formation of fuzzy models for assessing the state of objects in conditions of uncertainty]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh = Mathematical Methods in Engineering and Technology*, 2019, vol. 2, pp. 111-118.

24. Golosovsky M. S., Bogomolov A. V., Balandov M. E. Algoritm nastroiki sistem nechetkogo logicheskogo vyvoda tipa Sugeno na osnove metoda blizhaishikh sosedei [Algorithm for tuning systems of fuzzy inference of the Sugeno type based on the method of nearest neighbors]. *Matematicheskie metody v tekhnologiyakh i tekhnike = Mathematical Methods in Technology and Engineering*, 2021, no. 6, pp. 108-112.

25. Tobin D. S., Golosovsky M. S., Bogomolov A. V. Tekhnologiya obespecheniya dos-tovernosti informatsii pri provedenii setevykh ekspertiz [Technology of ensuring the reliability of information during network examinations]. *Sovremennye in-formatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT Education*, 2020, vol. 16, no. 3, pp. 623-632.
26. Katasev A. S. Tekhnologiya formirovaniya nechetkikh modelei otsenki sostoyaniya ob'ektov v usloviyakh neopredelennosti [Technology of formation of fuzzy models for assessing the state of objects in conditions of uncertainty]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh = Mathematical Methods in Engineering and Technology*, 2020, vol. 4, pp. 118-121.

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Голосовский Михаил Сергеевич**, кандидат технических наук, научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: gniiivm-g@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-1956-9956

**Юдин Андрей Борисович**, кандидат медицинских наук, доцент, начальник научно-исследовательского испытательного центра, Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: gniiivm\_yab@mil.ru, ORCID: 0000-0002-0986-4257

**Медведев Владимир Романович**, кандидат медицинских наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: gniiivm\_mvr@mil.ru, ORCID: 0000-0003-2825-1840

**Mikhail S. Golosovsky**, Cand. of Sci. (Engineering), Researcher, State Research and Testing Institute of Military Medicine of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: gniiivm-g@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-1956-9956

**Andrey B. Yudin**, Cand. of Sci. (Medical), Associate Professor, Head of the Research Testing Center, State Research Testing Institute of Military Medicine of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: gniiivm\_yab@mil.ru, ORCID: 0000-0002-0986-4257

**Vladimir R. Medvedev**, Cand. of Sci. (Medical), Associate Professor, Leading Researcher, State Research and Testing Institute of Military Medicine of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: gniiivm\_mvr@mil.ru, ORCID: 0000-0003-2825-1840

**Васягин Сергей Николаевич**, кандидат медицинских наук, начальник отдела, Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,  
e-mail: gniivm\_vsn@mil.ru,  
ORCID: 0000-0002-3288-7633

**Евтушенко Евгений Валериевич**, кандидат технических наук, старший преподаватель, Черноморское высшее военно-морское училище им. П. С. Нахимова, г. Севастополь, Российская Федерация,  
e-mail: gniivm\_eev@mil.ru,  
ORCID: 0000-0002-3648-9026

**Sergey N. Vasyagin**, Cand. of Sci. (Medical), Head of Department, State Research and Testing Institute of Military Medicine of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russian Federation,  
e-mail: gniivm\_vsn@mil.ru,  
ORCID: 0000-0002-3288-7633

**Evgeny V. Evtushenko**, Cand. of Sci. (Engineering), Senior Lecturer, Nakhimov Black Sea Higher Naval School, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: gniivm\_eev@mil.ru,  
ORCID: 0000-0002-3648-9026

**Оригинальная статья / Original article**<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-212-230>

## **Разработка метода и архитектуры мобильного приложения для удаленного мониторинга текущего состояния человека на основе данных жизненно важных показателей с датчиков**

**В. В. Гилка<sup>1</sup>✉, Ю. А. Орлова<sup>1</sup>, Д. Х. Хужахметова<sup>2</sup>, Ю. А. Качанов<sup>1</sup>, А. С. Кузнецова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Волгоградский государственный технический университет  
пр. Ленина 28, г. Волгоград 400005, Российская Федерация

<sup>2</sup> Клиника «Движение»  
ул. Рионская 2, г. Волгоград 400107, Российская Федерация

✉ e-mail: yura\_1234@mail.ru

### **Резюме**

**Цель исследования** – разработка метода и архитектуры мобильного приложения, позволяющего выполнять удаленный мониторинг текущего состояния человека (пациента) с использованием высокотехнологичных датчиков телефона, умных часов или фитнес-браслетов.

**Методы.** Ежегодно число людей (пациентов), которым необходим регулярный уход и наблюдение за их текущим состоянием здоровья, с каждым годом увеличивается в геометрической прогрессии. Сегодня методы и системы удаленного мониторинга пациента в условиях пандемии стали широко востребованными наряду с классическими (традиционными) способами, применяемыми в медицинских учреждениях. Благодаря развитию таких методов и современных технологий врачи могут предоставлять медицинские услуги в любое время и в любом месте в режиме, максимально приближенном к реальному времени.

В данной статье приводится анализ существующих методик удаленного мониторинга пациентов и предлагается новый метод, позволяющий отслеживать текущее состояние пациента на основе ЖВП, таких как: активность, температура тела, пульс, артериальное давление, уровень кислорода в крови, уровень стресса, сон, извлекаемые с помощью датчиков телефона, умных часов или фитнес-браслета. Приводится общая архитектура разрабатываемого мобильного приложения на базе *Android*.

При написании статьи для решения поставленной перед нами цели использовались медицинские методы удаленного мониторинга пациентов. Для разработки общей архитектуры мобильного приложения применялись методы математического моделирования, системного анализа, программной инженерии, объектно ориентированного программирования и технологии проектирования человеко-машинного взаимодействия.

**Результаты:** Был произведен анализ существующих методов удаленного мониторинга пациентов, отражающий их основные преимущества и недостатки; представлен новый способ отслеживания текущего состояния пациентов; разработана общая архитектура мобильного приложения.

**Заключение.** Исходя из проделанной работы мы можем сделать следующий вывод, что предложенный нами метод является не менее эффективным и доступным для пациентов (людей) в сравнении с другими предлагаемыми методиками. Позволяет улучшить взаимодействие пациента с врачом. Дает возможность врачам, а также родственникам оперативно реагировать на какие-либо изменения в состоянии здоровья пациента.

---

© Гилка В. В., Орлова Ю. А., Хужахметова Д. Х., Качанов Ю. А., Кузнецова А. С., 2021

**Ключевые слова:** удаленный мониторинг; методы удаленного мониторинга; жизненно важные показатели; пациент; врач; Android; архитектура приложения; GoogleFit4 Google Fit API.

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

**Финансирование:** Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 20-07-00502, 19-07-00020).

**Для цитирования:** Разработка метода и архитектуры мобильного приложения для удаленного мониторинга текущего состояния человека на основе данных жизненно важных показателей с датчиков / В. В. Гилка, Ю. А. Орлова, Д. Х. Хужахметова, Ю. А. Качанов, А. С. Кузнецова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 212–230. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-212-230>

Поступила в редакцию 05.10.2021

Подписана в печать 03.11.2021

Опубликована 20.12.2021

## Development of Method and Architecture of a Mobile Application for Remote Monitoring of the Current State of a Person, Based on Vital Signs Data Detected from Sensors

Vadim V. Gilka<sup>1</sup>✉, Yulia A. Orlova<sup>1</sup>, Dilyara K. Khuzhakhmetova<sup>2</sup>,  
Yuriii A. Kachanov<sup>1</sup>, Agnessa S. Kuznetsova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Volgograd State Technical University  
28 V. I. Lenina av., Volgograd 400005, Russian Federation

<sup>2</sup> Clinic "Dvizhenie"  
2 Rionskaya str., Volgograd 400107, Russian Federation

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

### Abstract

**The purpose of research** development of method and architecture of a mobile application that allows remote monitoring of the current state of a person (patient) using high-tech phone sensors, smart watches or fitness bracelets. **Methods.** Yearly, the number of people (patients) who need regular care and monitoring of their current state of health increases exponentially. Nowadays, methods and systems of remote monitoring of a patient in pandemic times have become widely in demand along with classical (traditional) methods used in medical institutions. Thanks to the development of such methods and modern technologies, doctors can provide medical services any time and in any place in the mode as close to real time as possible.

This article provides an analysis of existing methods of remote monitoring of patients and suggests a new method that allows you to track the current state of the patient on the basis of the VSP, such as: activities, body temperature, pulse, blood pressure, oxygen level in blood, stress level, sleep- extracted using phone, smartwatch or fitness bracelet sensors. The developed general architecture of the Android-based mobile application is also presented.

Medical methods of remote monitoring of patients were used to solve the goal set for us, while writing the article. Methods of mathematical modelling, system analysis, software engineering, object-oriented programming and human-machine interaction design technologies were used to develop the overall architecture of the mobile application.

**Results.** The analysis of existing methods of remote monitoring of patients was carried out, reflecting their main advantages and disadvantages; a new way of tracking the current state of patients is presented; the general architecture of the mobile application has been developed.

**Conclusion.** Based on the work done, we can conclude that the proposed method is no less effective and accessible to patients (people) in comparison with other proposed methods. It allows improvement of the interaction between patient and doctor. It will give a possibility to doctors, as well as relatives, to respond promptly to any changes in the patient's state of health.

**Keywords:** remote monitoring; remote monitoring methods; vital signs; patient; doctor; Android; application architecture; GoogleFit; Google Fit API.

**Conflict of interest:** The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Funding:** This work was partially supported by the RFBR (project No. 19-07-00020, 20-07-00502).

**For citation:** Gilka V. V., Orlova Y. A., Khuzhakhmetova D. K., Kachanov Y. A., Kuznetsova A. S. Development of Method and Architecture of a Mobile Application for Remote Monitoring of the Current State of a Person, Based on Vital Signs Data Detected from Sensors. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoje priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2021; 11(4): 212–230. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2021-11-4-212-230>

Received 05.10.2021

Accepted 03.11.2021

Published 20.12.2021

## Введение

Область здравоохранения является одной из самых важных, так как напрямую связана с вопросами жизни и смерти человека. Ранее в сфере здравоохранения в основном все разработки были сосредоточены на стационарной помощи и удаленным методам мониторинга уделялось недостаточно времени и внимания. Стоит отметить, что медицину уже безвозвратно изменили появившиеся информационные технологии, программные продукты, мобильные приложения и WEB-приложения [1].

Удаленный мониторинг пациентов (УМП) или дистанционный контроль пациентов (ДКП) – это один из методов оказания медицинских услуг, технология которого позволяет осуществлять контроль за его текущим состоянием за

пределами обычных клинических условий, например на дому или в отдаленном районе. УМП включает в себя регулярное дистанционное наблюдение и уход за пациентами со стороны медработников и часто применяется для отслеживания хронических заболеваний, симптоматики или реабилитации больных после операций или госпитализации [2].

Главная функция УМП заключается в способствовании раннему обнаружению ухудшающегося состояния пациента, анализе и мониторинге физиологических параметров, тем самым позволяет снизить количество посещений и пребывания в больницах [3].

Мобильные приложения в сфере здравоохранения стали набирать популярность и начали применяться благодаря активному развитию беспроводных

технологий, таких как спутниковые каналы, Wi-Fi, LTE, Bluetooth [4; 5; 6]. Проведенные исследования показывают, что на период к 2015 г. количество пользователей мобильных приложений, применяемых в области здравоохранения, превысило 100 миллионов человек, что говорит о том, что они очень важны для мониторинга состояния здоровья [7]. Основная идея данного подхода состоит в том, чтобы наладить цифровую связь между медучреждением и пациентами с целью улучшения качества предоставляемых медицинских услуг и своевременного оказания необходимой помощи в случае ухудшения состояния здоровья человека, а также сделать медицину более доступной для людей. Возникшая в конце 2020 г. пандемия [8] показала, что в сфере здравоохранении не все так гладко, как хотелось бы, и вследствие этого УМП и разработка новых таких методик, более доступных для людей особенно с ограниченными финансово-выми возможностями, стали более востребованными, так как закрытые больницы, мобилизация всех врачей на борьбу с инфекцией, боязнь заразиться и многие другие различные факторы остали тяжело больных, прежде всего пациентов в возрасте, без качественной медицинской помощи, а в случаях с более серьезными заболеваниями – привели к преждевременным смертям, что делает выбранную нами тематику актуальной в настоящее время.

## Материалы и методы

Анализ существующих работ и методов удаленного мониторинга за текущим состоянием пациента показал, что существуют и используются разные подходы в данном направлении.

Удаленный мониторинг пациентов относится к одному из подвидов телемедицины [9]. Она позволяет медикам оценивать, лечить и диагностировать пациентов с применением технологий телекоммуникации без необходимости личного визита к врачам [10].

Здесь важно отметить, что телемедицина – это не просто медицина по телевизору или с использованием менеджеров для общения и видеосвязи, она подразумевает применение любых средств коммуникации в процессе представления медицинских услуг, будь то технологии виртуальной и дополненной реальности, мобильные приложения, WEB-приложения, носимые медицинские устройства (датчики), которые позволяют определять текущее состояние пациента.

Для начала разберем, какие существуют на сегодняшний день методы, позволяющие контролировать больных, и поговорим об их основных преимуществах и недостатках. На сегодняшний день выделяют три основных способа.

Стационарный метод – когда наблюдение за пациентами происходит под наблюдением медработников или медперсонала в больнице [11].

Основные плюсы данного подхода заключаются в следующем:

– подходит для всех пациентов в независимости от сложности и степени заболевания;

– пациент регулярно находится под присмотром и контролем медперсонала, что позволяет своевременно оказать ему медицинскую помощь в экстренных ситуациях и тех случаях, когда время идет на минуты;

– для контроля текущего состояния больного может применяться как современное оборудование УМП, так и обычное стационарное, если ситуация того требует;

– наличие практически всех необходимых лекарств;

– сдавать анализы и производить все необходимые процедуры можно непосредственно в отделении медучреждения;

– отсутствие бытовых хлопот.

Наряду с преимуществами данный метод имеет также определённый ряд недостатков:

– у большинства пациентов непосредственное нахождение в медучреждении может вызывать стресс, что негативно может сказываться на его состоянии здоровья;

– дороговизна (отметим, что в России имеется как платная медицина, которая предоставляется частными и государственными учреждениями, так и бесплатная, на основе полиса обязательного медицинского страхования (ОМС), стра-

ховка которого позволяет бесплатно посещать поликлиники и лежать под стационарным наблюдением в больницах. Далеко не во всех странах имеется бесплатная медицина. Если на постсоветском пространстве плюс-минус система здравоохранения работает по схожем принципам как в РФ, то в странах запада оказание медицинских услуг преимущественно платное, и даже если человек оплачивает страховку, которая стоит не малых денег, ее все равно может быть недостаточно для того, чтобы покрыть все расходы на лечение);

– могут отсутствовать места в палатах для стационарного лечения в медучреждении в период высокой загруженности.

Амбулаторный метод – когда пациент находится на дому [12]. С применением данного метода врач будет периодически навещать больного, но и также может вместо себя отправить для проверки участкового врача или осуществлять контроль за пациентом с использованием современных средств телемедицины.

К основным преимуществам данного способа можно отнести следующее:

– больной так же, как в случае с стационарным лечением, находится под наблюдением медперсонала;

– контроль может осуществляться с различными видами УМП и телемедицины, что позволяет предоставлять более качественные медицинские услуги;

– так как пациент находится на дому, ему психологически может быть легче, что в свою очередь может положительно отразится на динамике его лечения.

Помимо основных достоинств отметим и основные недостатки данного подхода:

– если не применяются методы УМП, то в таком случае контроль за текущим состоянием здоровья становится нерегулярным ввиду того, что в зависимости от ситуации у врачей может быть много пациентов, требующих визита к себе домой, и зачастую, как показывает практика, он может попросту не успеть и это повлечет за собой негативные последствия в лечении;

– наряду со стационарным методом является менее затратным;

– нет возможности сдавать все необходимые анализы и проходить процедуры;

– возможно отсутствие под руками на дому необходимых лекарств;

– в отсутствие людей, которые могли бы помочь, осуществлять контроль (к примеру родственники), применение в таком случае данного метода становится крайне проблематичным и недопустимым при тяжелых течениях болезни;

– подходит далеко не всем пациентам.

Дневной стационар – по сути данный метод совмещает в себе плюсы стационарного и амбулаторного лечения, так как подразумевает, что больной

находится в учреждении в дневное время, где его, в свою очередь, будут постоянно наблюдать медработники. Больной проходит все необходимые процедуры, назначенные лечащим врачом, и после этого направляется домой.

Основные недостатки данного подхода заключаются в следующем:

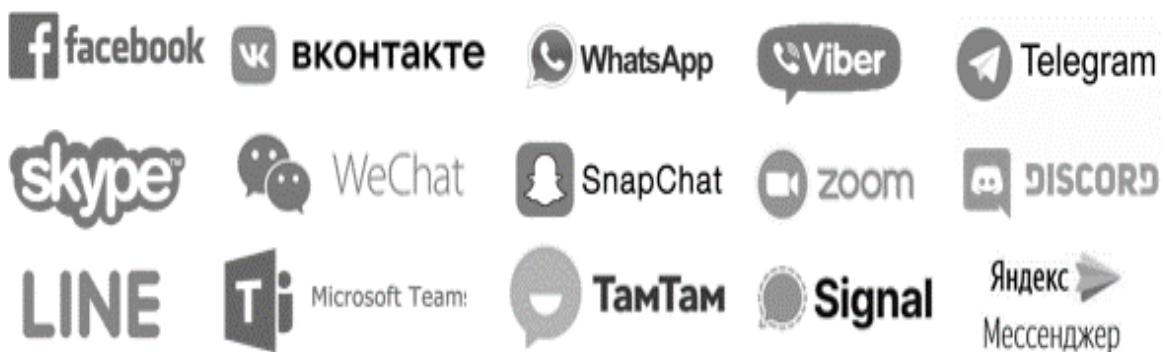
– дневной стационар обычно находится только при районных поликлиниках и присутствует далеко не во всех медицинских учреждениях;

– в тех местах, где он имеется, обычно большие очереди на госпитализацию, что снижает наши шансы на то, чтобы попасть туда;

– если пациенту стало плохо в ночное время, то он так же, как и в случае с амбулаторным лечением, должен вызывать скорую помощь или использовать методы телемедицины, что в совокупности может сделать лечение очень дорогим [13].

Так как наша работа посвящена амбулаторному методу с применением технологий телемедицины для удаленного мониторинга пациентов, рассмотрим наиболее часто применяемые, а также работы других авторов, охарактеризуем их основные преимущества и проблемы.

Один из самых простых и распространённых способов оказания медицинской помощи пациентам – это применение телекоммуникационных приложений, но мы рассмотрим лишь самые популярные среди пользователей [14]. Их перечень приводится в соответствии с рисунком 1.



**Рис. 1.** Перечень телекоммуникационных приложений

**Fig. 1.** List of telecommunication applications

К основным преимуществам применения мессенджеров в телемедицине для УМП относят:

- доступность;
- дешевизну;
- оперативную консультацию с лечащим врачом;
- оптимизацию передачи информации от врача к пациенту и наоборот;
- синхронные телемедицинские консультации между несколькими медработниками с участием пациента;
- применение видеосвязи и фотографий для визуального осмотра;
- эффективное совершение процесса поддержки принятия клинических решений;
- своевременную коррекцию клинико-диагностических решений.

К основным проблемам применения данного метода относят следующие:

- медработник или медицинский консультант должен находиться постоянно в сети, чтобы своевременно и оперативно дать необходимый совет пациенту;

– отсутствие возможности точной передачи данных о текущем состоянии здоровья человека (к примеру, когда пациент описывает определенные симптомы, имеется большая вероятность того, что излагаемая им общая картина своего состояния может не соответствовать действительности, так как в медицине имеется четко сформулированная гипотеза, утверждающая тот факт, что боль или проблема, которую он описывает, не всегда исходит из того места, где проявляются основные симптомы, и исходя из этого врач может принять неверное решение, что в дальнейшем может привести к негативным последствиям лечения);

- далеко не у всех людей имеются мобильные устройства с хорошей камерой, позволяющей четко произвести визуальный осмотр;
- напрямую зависит от качества представляемого доступа к сети интернет-провайдерами;
- не все телекоммуникационные приложения позволяют обеспечить четкую картинку для визуального осмотра

посредствам камеры, так как зачастую их разработчики применяют различные алгоритмы сжатия видеотрансляций и пересылаемых фотографий с целью оптимизации работы приложения и экономии трафика, в результате чего врачом могут быть даны неверные рекомендации относительно решаемой проблемы на основе виртуального визуального осмотра;

- не подходит тяжелобольным, которые находятся в тяжелом состоянии, т. е. когда пациент прикован к кровати, парализован или является недееспособным;

- еще одной несущественной проблемой является тот факт, что далеко не все врачи владеют и используют в своей работе информационные технологии, но, как показывает статистика, в основном это высоковозрастные специалисты, которые используют старые, но не менее эффективные и проверенные годами методы, и ежегодно данная тенденция меняется в лучшую сторону, и более молодые специалисты в основном в своей работе стараются применять все последние достижения в медицине и науке, применяя в своей работе новейшие методики и технологии, существующие на сегодняшний день, и вносят свою лепту в их дальнейшее развитие и совершенствование [15].

Решение Home Monitoring BIOTRONIK. Суть данного способа ра-

боты заключается в том, что устанавливается телеметрическая связь между электрокардиостимулятором (ЭКС) и прибором Cardiomessenger, который необходимо носить постоянно при себе пациенту. Принцип работы у него следующий: прибор больного Cardiomessenger получает телеметрические сообщения с датчиков ЭКС, имплантированных в тело человека, и передает их с использованием обычной мобильной сети в сервис-центр, где эти данные в дальнейшем обрабатываются и далее предаются врачу либо в виде факса, либо направляются в личный кабинет WEB-сайта [16].

Решение: Latitude NXT. Работа данного метода использует примерно тот же принцип работы, как и [16], за исключением того, что позволяет организовать свою работу помимо использования мобильной сети еще LTE. Позволяет в основном отслеживать проблемы, связанные с сердцем, но также даёт возможность подключать к себе мониторы кровяного давления, кардиостимуляторы, весы и другие [17].

Решение GE Apex Pro. Принцип работы данного прибора основывается на том, что в тело пациента встраиваются телеметрические датчики, позволяющие обрабатывать и анализировать четыре независимых одновременных ЭКГ-отведения и при необходимости уровень кислорода в крови, храня их для просмотра в клиническом информационном центре CIC Pro [18].

**Решение Vital Sync.** Встраивается в экосистему больницы. Система непрерывно собирает и анализирует данные прямо с мониторов, которые располагаются в палатах у пациента, или носимых медицинских датчиков, сводит их воедино и позволяет предоставить их в понятном виде [19].

**Решение Xhibit** – еще один способ УМП, который основан на таком же способе работы, как и Vital Sync. Позволяет настроить прибор под специфические потребности пациентов. Подключается и считывает данные с мониторов, датчиков или контрольной панели.

**Решение Wellness Connected.** Представляет собой набор устройств и приложений, которые передают данные на основе подключения к прибору таких устройств, как тонометры, сетевые весы, трекеры активности и сна.

**Решение: Aware.** Данная система на основе датчиков отслеживает параметры тревоги и также может реагировать на сигналы, связанные с телеметрией пациента.

Принцип работы у представленных решений примерно у всех одинаков и не сильно отличается друг от друга. Имеются медицинские датчики, мониторы или контрольные панели, которые считывают данные о состоянии пациента, далее они обрабатываются приборами и предаются врачу или медперсоналу по средствам программ, сервис-центров, используя мобильную связь или Интернет.

Отметим основные преимущества использования таких устройств:

- достаточно высокая точность отслеживания показаний передаваемых датчиками мониторов или контрольных панелей и самих датчиков устройства;
- каждый из них можно применять как на дому, так и в больницах;
- экономия времени пациента и врачей;
- быстрое реагирование на изменение состояния больного, что позволяет вносить соответствующие корректизы в лечение;
- повышают эффективность медучреждений;
- позволяют также обслуживать людей, проживающих на удалённых территориях, в т. ч. в селах.

Наряду с преимуществами, отметим их основные недостатки:

- в основном указанные приборы отслеживают сердечные ритмы и проблемы, связанные с сердцем, за исключением нескольких, функционал которых можно расширить путем подключения дополнительных датчиков;
- ограничивает пациента в передвижениях, так как ему необходимо постоянно находиться в зоне действия прибора или проводов;
- зависит от качества предоставляемых услуг операторов сотовых сетей;
- главным и серьезной проблемой является высокая стоимость данного типа оборудования, так как далеко не каждый человек может себе такое позволить;

– доступны в основном на текущий момент только для медучреждений и не продаются в аптеках, доставка осуществляется исключительно только под заказ, а некоторые из них предоставляются только для больниц и отсутствуют в свободном доступе;

– как и в случае с менеджерами, врачу необходимо владеть базовыми знаниями информационных технологий на уровне продвинутого пользователя.

Существует также множество опубликованных исследований, которые предлагают свои способы контроля – статуса пациента с использованием мобильных телефонов и беспроводных устройств, которые надеваются на тело пациентов [20]. Некоторые из исследователей использовали в своих работах технологию GSM для отправки данных с датчиков устройств на медицинские серверы [21; 22; 23]. Это дает пациенту возможность покинуть больницу, но все равно он должен оставаться в зоне доступа, чтобы обеспечить возможность связаться с ним в экстренных случаях. Даже при таком решении пациент не может свободно передвигаться и находится далеко от своего дома.

Автор работы [24] предлагает схожий с нашим способ, главным отличием которого является то, что в ней он предлагает использовать беспроводные подвесные медицинские датчики на батарейках, которые позволяют не приковываться пациенту к одному месту и не особо ограничиваться в передвижениях.

Основная проблема таких методов заключается в том, что совокупность множества подключаемых датчиков может обойтись достаточно дорого и не по карману простым обывателям, имеются также вопросы касательно автономности, которая для каждого датчика будет своя, и ходить с кучей устройств на теле в целом будет далеко удобно не каждому человеку. Плюсом является то, что использование такого подхода позволяет получение за счет носимых устройств точных данных о текущем состоянии человека.

Также стоит добавить, что пандемия коронавирусной инфекции показала все основные проблемы здравоохранения во всем мире. В период локдаунов и очередной волны инфекции мы столкнулись со следующими проблемами:

– достаточно тяжело наладить контакт пациента с необходимым врачом;

– отсутствие доступных каждому человеку в повседневной жизни методов УМП, в результате чего колossalное количество больных оказалось без необходимого медицинского надзора, что привело к усугублению текущих проблем со здоровьем, которые повлекли за собой неприятные последствия вплоть до летальных исходов;

– необходимостью снизить нагрузку на медучреждения для препятствования распространению вируса;

– больницы не справляются с таким огромным количеством пациентов.

Поэтому развитие таких методов является на сегодняшний день достаточно актуальной и востребованной задачей, на основе этого мы предлагаем свое решение, которое бы позволило решить большую часть описанных ранее проблем.

### Результаты и их обсуждение

Предлагаемая нами система может быть внедрена в экосистему больницы и непосредственно использоваться на дому, тем самым позволяя поддерживать контроль за безопасностью здоровья человека.

В состав предлагаемого нами способа входит следующее оборудование (рис. 2).



**Рис. 2. Оборудование**

**Fig. 2. Equipment**

В состав разрабатываемого нами метода входят следующие составные части:

- мониторинг ЖВП с датчиков телефона, смарт-часов или фитнес-трекера, как это показано на рисунке 2;
- анализ и проверка ЖВП по стандартам медицины;
- выполнение аварийных инструкций;

- отправка отчета наблюдателю и врачу о текущем состоянии ЖВП;
- хранение истории;
- общение пациента и врача через приложение;
- выдача медицинских рекомендаций наблюдателю и больному;
- выдача электронного рецепта на препараты;
- определение местоположения пациента;
- кнопка экстренной помощи;
- обеспечение связи по средствам LTE и мобильной сети.

Предлагаемый нами метод работает следующим образом (рис. 3).

Данные о жизненно важных показателях пациента со смарт-часов передаются приложению. Далее приложение анализирует данные и на их основе отправляет отчет в WEB-интерфейс врачу и непосредственно наблюдателю для дальнейшего принятия решений.

В ходе проведенного нами анализа устройств мы смогли выделить те показатели, которые могут считывать современные смарт-часы или фитнес-трекеры на сегодняшний день: активность, температура тела, пульс, артериальное давление, уровень кислорода в крови, уровень стресса и сон. Некоторые датчики дублируются как на телефоне, так и на носимом устройстве, что позволяет повысить точность считывания показаний.

**Рис. 3.** Алгоритм разработанного метода**Fig. 3.** Algorithm of the developed method

Предлагаемый нами способ является более доступным как для людей, так и для медиков ввиду того, что телефоны, смарт-часы и фитнес-трекеры можно приобрести в любом магазине электроники, обладают высокой и низкой стоимостью в зависимости от бренда. И ничем не уступают в точности в сравнении с медицинскими устройствами определения жизненно важных показателей, и более того, ежегодно их производители

вносят новые функции и алгоритмы, которые позволяют сделать данные устройства куда более точными, функциональными с высокой автономностью работы.

Общая архитектура предлагаемой системы мобильного приложения показана на рисунке 4. Из рисунка 4 видно, что приложение отправляет запрос к датчикам смарт-часов, используя Google Fit [25].

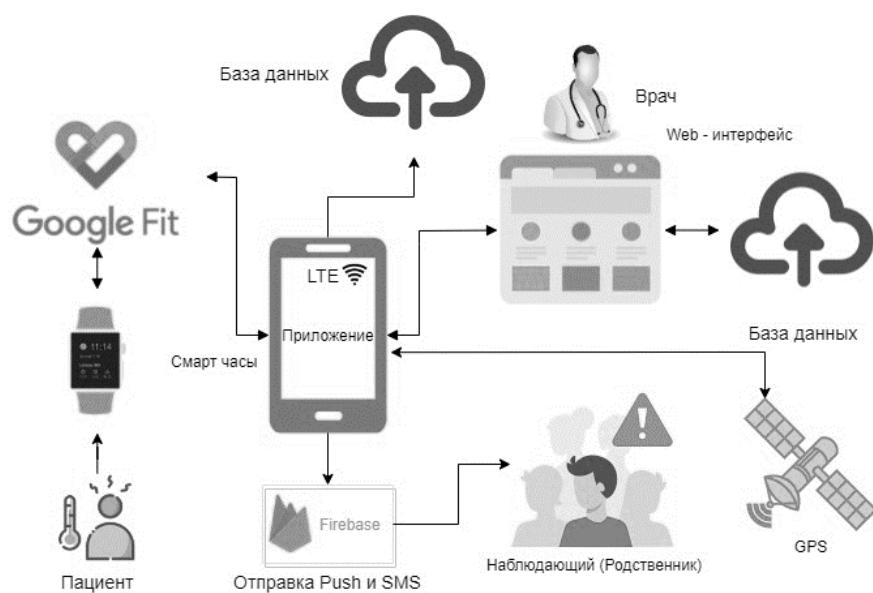


Рис. 4. Общая архитектура приложения

Fig. 4. General application

Данное приложение разрабатывается компанией Google для Android с целью отслеживания своего здоровья. Выбор Google Fit обоснован тем, что эта платформа предоставляет доступ к датчикам смарт-часов, фитнес-трекера и телефона без каких-либо ограничений, в отличие от других IT-компаний, которые не предоставляют возможности подключения к API своих устройств, а если и позволяют, то только ограниченно. Датчики отправляют показания в Google Fit, мы их считываем, а после анализируем, перенаправляя к врачу в WEB-интерфейс в виде отчета. Эти данные также сохраняются в базе данных WEB-интерфейса и самого приложения для того, чтобы можно было просмотреть историю. Далее, как мы можем увидеть, приложение еще дублирует отчет о ЖВП родственнику или человеку, который за ним будет присматривать, и на

основе этих данных в зависимости от ситуации будут выдаваться рекомендации. Отправка наблюдателю будет осуществляться с использованием Firebase. Разработан компанией Google. Представляет мощные инструменты для разработки мобильных и Web-приложений. Его выбор обоснован тем, что в нем имеется возможность отправлять Push- и SMS-уведомления. Такое дублирование необходимо для своевременной доставки отчета, к примеру, если будет слабый сигнал LTE или доступа к Интернету в принципе нет. Также наблюдателям доступен просмотр показателей из приложения. В случае экстренной ситуации, когда полученные ЖВП выходят за пределы нормы, приложение мгновенно реагирует на это и отправляет тревожный сигнал наблюдателю и врачу в WEB-интерфейс. Медработник сможет при

данной архитектуре отправлять электронные рецепты на препараты, осуществлять непосредственное общение с больным. Также на основе данных GPS мы сможем определять текущее местоположение человека.

## Выводы

Подводя итоги, мы можем сказать, что предлагаемый метод позволит осуществлять мониторинг и обнаруживать отклонения в здоровье пациента, делать это с высокой точностью в режиме, максимально приближенном к реальному времени, ничем не уступая по своей сути альтернативным методам УМП, обладает относительно невысокой стоимостью, а главное – доступен для всех. Для измерения ЖВП будут применяться всего два устройства – смарт-часы (фитнес-трекер) и телефон, что обеспечит свободу действий пациенту и не ограничит его пребывание в рамках одного помещения или радиуса действия устройства. Разрабатываемое приложение будет доступно как для медработников, так и для людей, которые будут присматривать за больным, что позволит им кон-

тролировать состояние здоровья и в случае проблемы благодаря приложению среагировать на отклонения в показаниях, обратившись за помощью к медработнику или вызвав скорую помощь. На основе данных о местоположении пациента можно будет обнаружить и определить, где больной находится, если ему неожиданно стало плохо или он страдает болезнями, связанными с потерей памяти, и просто не может найти дорогу домой. Отметим, что развитие таких технологий значительно увеличивает диагностические возможности медработников, позволяет отслеживать многие хронические заболевания и снижает смертность, а также разгружают медучреждения от больших масс людей, что способствует уменьшению распространения вирусных и инфекционных заболеваний. Благодаря дополнительной персонализированной медицинской помощи в системе здравоохранения пациенту представляется более комплексное и доступное медицинское решение, помогающее ему в процессе приема лекарств без необходимости в каких-либо дополнительных аппаратных устройствах и затратах.

## Список литературы

1. Hii P., Chung W. A Comprehensive, ubiquitous healthcare solution on an Android mobile device // Sensors. 2011. N 7. P. 6799-6815.
2. Обзор системы удалённого мониторинга пациентов / П. Комарь, Д. Дмитриев, А. Ледяева, С. Болотова, И. Шадеркин // EverCare. 2020. № 1. С. 72.
3. Удаленный мониторинг пациентов. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Remote\\_patient\\_monitoring](https://en.wikipedia.org/wiki/Remote_patient_monitoring) (дата обращения: 08.09.2021).

4. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. СПб.: Питер, 2012. 960 с.
5. Грингард С. Интернет вещей: Будущее уже здесь. М.: Альпина Паблишер, 2016. 188 с.
6. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2020. 1008 с.
7. Пурнашбанд В., Саррафзаде М., Рейхер П. Защита устаревших мобильных медицинских устройств. Беспроводная мобильная связь и здравоохранение // Сборник конференции. Париж: Шпрингер, 2012. С. 163-172.
8. Проскура Н. В. Возрастание роли телекоммуникационных услуг на сельских территориях. Влияние пандемии // Вестник НГИЭИ. 2021. № 10 (125). С. 57-67.
9. Петреева А. С., Казарян И. Р. Телемедицина – новые возможности в здравоохранении // Аспирант. Приложение к журналу Вестник Забайкальского государственного университета. 2018. № 1. С. 99-106.
10. Баранов А. А., Вишнева К. А., Намазова-Баранова Л. С. Телемедицина – перспективы и трудности перед новым этапом развития // Педиатрическая фармакология. 2013. Т. 10, № 3. С. 6–11.
11. Касимовская Н. А., Микерова М. С. Организация стационарной помощи. М. : МГМУ, 2018. 158 с.
12. Манерова О. А., Кубраков М. А., Касимовская Н. А. Организация амбулаторно-поликлинической помощи. М.: МГМУ, 2012. 65 с.
13. Лечение в больнице и на дому. URL: [https://medaboutme.ru/articles/lechenie\\_v\\_bolnitse\\_i\\_na\\_domu\\_plyusy\\_i\\_minusy/](https://medaboutme.ru/articles/lechenie_v_bolnitse_i_na_domu_plyusy_i_minusy/) (дата обращения: 10.09.2021).
14. Популярные мессенджеры: список российских и мировых сервисов. URL: <https://vc.ru/u/234439-email-soldiers/298130-populyarnye-messendzhery-spisok-rossiyskih-i-mirovyh-servisov-obzor-2021> (дата обращения: 11.09.2021).
15. Топ-10 медицинских технологий, меняющих ландшафт столичного здравоохранения. URL: <https://niiroz.ru/doc/Top-10-medicinskih-tehnologij.pdf> (дата обращения: 12.09.2021).
16. Домашний мониторинг. URL: <https://www.biotronik.com/en-us/patients/home-monitoring> (дата обращения: 13.09.2021).
17. Система удаленного управления пациентами. URL: <https://www.bostonscientific.com/en-US/products/remote-patient-monitoring/latitude-nxt/clinical-outcomes.html> (дата обращения: 13.09.2021).
18. Телеметрический приемник GE Apex Pro. URL: <https://www.cardiomed.su/anesteziologiya-i-reanimaciya/monitory-pacienta/ge-apex-pro/> (дата обращения: 14.09.2021).

19. Виртуальная платформа для мониторинга пациентов Vital Sync™. URL: <https://www.medtronic.com/covidien/en-us/products/health-informatics-and-monitoring/vital-sync-virtual-patient-monitoring-platform.html> (дата обращения: 14.09.2021).
20. Aminian M., Naji H. R. Hospital health monitoring system using wireless sensor networks // J. Health. Med. Inform. 2013. P. 1-6.
21. Telemedicine ECG telemetry with Bluetooth technology, Proceedings of computers in cardiology / S. Khoor, K. Nieberl, K. Fugedi, E. Kail // Computers in Cardiology. 2001. N 28. P. 585-588.
22. Jain N. P., Jain P. N., Agarkar T. P. Agarkar Built-in multiparameter monitoring system and monitoring patients in real-time based on the GSM implementation for patients in intensive care. Information and communication technologies (WICT). 2012. N 987-992. P. 585.
23. Patient monitoring system using GSM technology / J. S. Adivarekar, A. D. Chordia, H. H. Baviskar, P. V. Aher, S. Gupta // International Journal of Mathematical and Computer Research. 2013. N 2. P. 28-73.
24. Baqer M., Kamel M. Remote Patient Tracking and Monitoring System // Journal of Computer Science and Mobile Computing. 2013. N 12. P. 88-94.
25. Научись вести более здоровую и активную жизнь. URL: <https://www.google.ru/fit/> (дата обращения: 15.09.2021).

## References

1. Hii P., Chung W. A comprehensive, ubiquitous healthcare solution on an Android mobile device. *Sensors*. 2011, no. 7, pp. 6799-6815.
2. Komar P., Dmitriev D., Ledyayev A., Bolotov, S., Sudarkin I. Obzor sistemy udalennogo monitoringa patsientov [Overview of remote patient monitoring]. *EverCare*, 2020, no. 1, p. 72.
3. Udalennyi monitoring patsientov [Remote patient monitoring]. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Remote\\_patient\\_monitoring](https://en.wikipedia.org/wiki/Remote_patient_monitoring). (accessed 08.09.2021)
4. Tanenbaum E., Weatherall D. Komp'yuternye seti [Computer networks]. 5<sup>th</sup> ed. St. Petersburg, Piter Publ., 2012. 960 p.
5. Gringard S. Internet veshchei: Budushchee uzhe zdes' [The Internet of Things: The Future is already here]. Moscow, Alpina Publisher, 2016. 188 p.
6. Olifer V., Olifer N. Komp'yuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly [Computer networks. Principles, technologies, protocols]. St. Petersburg, Piter Publ., 2020. 1008 p.

7. Purnashband V., Sarrafzade M., Reicher P. Zashchita ustarevshikh mobil'nykh meditsinskikh ustroistv. Besprovodnaya mobil'naya svyaz' i zdravookhranenie [Protection of outdated mobile medical devices. Wireless mobile communication and healthcare]. Sbornik konferentsii [Collection of the conference]. Paris, Springer Publ., 2012, pp. 163-172. (In Russ.)
8. Proskura N. V. Vozrastanie roli telekommunikatsionnykh uslug na sel'skikh territoriyakh. Vliyanie pandemii [The increasing role of telecommunication services in rural areas. The impact of the pandemic]. *Vestnik NGIEI = Herald NGIEI*, 2021, no. 10 (125), pp. 57-67.
9. Petreeva A. S., Kazaryan I. R. Telemeditsina – novye vozmozhnosti v zdravookhranenii [Telemedicine – new opportunities in healthcare]. *Aspirant. Prilozhenie k zhurnalu Vestnik Zabaikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Post-Graduate Student. Appendix to the Journal Bulletin of the Trans-Baikal State University*, 2018, no. 1, pp. 99-106.
10. Baranov A. A., Vishneva K. A., Namazova-Baranova L. S. Telemeditsina – perspektivy i trudnosti pered novym etanom razvitiya [Telemedicine – prospects and difficulties before the new ethane of development]. *Pediatriceskaya farmakologiya = Pediatric Pharmacology*, 2013, vol. 10, no. 3, pp. 6-11.
11. Kasimovskaya N. A., Mikerova M. S. Organizatsiya statsionarnoi pomoshchi [Organization of inpatient care]. Moscow, MG MU Publ., 2018. 158 p.
12. Manerova O. A., Kubrakov M. A., Kasimovskaya N. A. Organizatsiya ambulatorno-poliklinicheskoi pomoshchi [Organization of outpatient polyclinic care]. Moscow, MG MU Publ., 2012. 65 p.
13. Lechenie v bol'nitse i na domu [Treatment in hospital and at home]. Available at: [https://medaboutme.ru/articles/lechenie\\_v\\_bolnitse\\_i\\_na\\_domu\\_plyusy\\_i\\_minusy/](https://medaboutme.ru/articles/lechenie_v_bolnitse_i_na_domu_plyusy_i_minusy/). (accessed 10.09.2021)
14. Populyarnye messendzhery: spisok rossiiskikh i mirovykh servisov [Popular messengers: list of Russian and world services]. Available at: <https://vc.ru/u/234439-email-soldiers/298130-populyarnye-messendzhery-spisok-rossiyskih-i-mirovyh-servisov-obzor-2021>. (accessed 11.09.2021)
15. Top-10 meditsinskikh tekhnologii, menyayushchikh landscape stolichnogo zdravookhraneniya [Top 10 medical technologies changing the landscape of the capital's healthcare]. Available at: <https://niiroz.ru/doc/Top-10-medicinskikh-tehnologij.pdf>. (accessed 12.09.2021)
16. Domashnii monitoring [Home Monitoring]. Available at: <https://www.biotronik.com/en-us/patients/home-monitoring>. (accessed 13.09.2021)

17. Sistema udalennogo upravleniya patsientami [Remote patient management system]. Available at: <https://www.bostonscientific.com/en-US/products/remote-patient-monitoring/latitude-nxt/clinical-outcomes.html>. (accessed 13.09.2021)
18. Telemetricheskii priemnik GE Apex Pro [GE Apex Pro Telemetry Receiver]. Available at: <https://www.cardiomed.su/anesteziologiya-i-reanimacziya/monitory-pacienta/ge-apex-pro/>. (accessed 11.09.2021)
19. Virtual'naya platforma dlya monitoringa patsientov Vital Sync™ [Virtual patient monitoring platform Vital Sync™]. Available at: <https://www.medtronic.com/covidien/en-us/products/health-informatics-and-monitoring/vital-sync-virtual-patient-monitoring-platform.html>. (accessed 11.08.2021)
20. Aminian M., Naji H. R. Health monitoring system in a hospital using wireless sensor networks. *J. Health. Med. Inform.*, 2013, pp. 1-6.
21. Khoor S., Nieberl K., Fugedi K., Kail E. Telemedicine ECG-telemetry with Bluetooth technology. *Computers in Cardiology*, 2001, no. 28, pp. 585-588.
22. Jain N. P., Jain P. N., Agarkar T. P. Built-in multiparameter monitoring system and monitoring patients in real-time based on the GSM implementation for patients in intensive care. *Information and communication technologies (WICT)*, 2012, no. 987-992, p. 585.
23. Adivarekar J. S., Chordia A. D., Baviskar H. H., Aher P. V., Gupta S. Patient monitoring system using GSM technology. *International Journal of Mathematical and Computer Research*, 2013, no. 2, pp. 28-73.
24. Baquer M., Kamel M. Remote tracking and monitoring system of patients. *Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 2013, no. 12, pp. 88-94.
25. Nauchis' vesti bolee zdorovyyu i aktivnuyu zhizn' [Learn to lead a healthier and more active life]. Available at: <https://www.google.ru/fit>. (accessed 15.09.2021)

---

## Информация об авторах / Information about the Authors

**Гилка Вадим Викторович**, старший преподаватель кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, e-mail: [gilka\\_vv@mail.ru](mailto:gilka_vv@mail.ru), ORCID: 0000-0003-1470-8766

**Vadim V. Gilka**, Senior Lecturer of the Department of Software of Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, e-mail: [gilka\\_vv@mail.ru](mailto:gilka_vv@mail.ru), ORCID: 0000-0003-1470-8766

**Орлова Юлия Александровна**, доктор технических наук, доцент кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, e-mail: yulia.orlova@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4854-7462

**Хужахметова Диляра Харисовна**, ведущий врач-терапевт, клиника «Движение», г. Волгоград, Российская Федерация, e-mail: huzhahmetova62@mail.ru

**Качанов Юрий Александрович**, преподаватель кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, e-mail: yura\_1234@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4754-449X

**Кузнецова Агнесса Сергеевна**, старший преподаватель кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, e-mail: agnessakyz@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5554-3887

**Yulia A. Orlova**, Dr. of Sci. (Engineering), Head of the Department of Software of Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, e-mail: yulia.orlova@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4854-7462

**Dilyara K. Khuzhakhmetova**, Leading Physician Therapist of the Clinic "Dvizhenie", Volgograd, Russian Federation, e-mail: huzhahmetova62@mail.ru

**Yuriii A. Kachanov**, Lecturer of the Department of Software of Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, e-mail: yura\_1234@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4754-449X

**Agnessa S. Kuznetsova**, Senior Lecturer of the Department of Software of Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, e-mail: agnessakyz@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5554-3887

## **К сведению авторов**

1. К публикации в журнале «Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2 Авторы статей должны представить в редакцию журнала:

- статью, оформленную в соответствии с правилами оформления статей, представляемых для публикации в журнале;

- разрешение на опубликование в открытой печати статьи от учреждения, в котором выполнена работа.

- сведения об авторах (фамилия, имя отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, почтовый адрес, телефон, e-mail);

- лицензионный договор.

3. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами.

4. Редакция не принимает к рассмотрению рукописи, оформленные не по правилам.

### **5. Публикация бесплатная.**

6. Основной текст рукописи статьи (кроме аннотации и ключевых слов) набирают в текстовом редакторе MS WORD шрифтом «Times New Roman» размером 14 пт с одинарным интервалом, выравнивание по ширине. Поля с левой стороны листа, сверху и снизу – 2,5 см, с правой стороны-2 см. Абзацный отступ – 1,5 см.

7. Схема построения публикации: УДК (индекс по универсальной десятичной классификации), фамилия и инициалы автора(ов) с указанием ученой степени, звания, места работы (полностью), электронного адреса (телефона), название (строчные), аннотация и ключевые слова, текст с рисунками и таблицами, список литературы. Авторы, название, аннотация и ключевые слова, список литературы приводятся на русском и английском языках.

Перед основным текстом печатается аннотация (200-250 слов), отражающая краткое содержание статьи.

8. При формировании текста не допускается применение стилей, а также внесение изменения в шаблон или создание собственного шаблона. Слова внутри абзаца следует разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; не допускаются разрядки слов.

9. Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул MathType версии 5.2 и выше с размерами: обычный – 12 пт; крупный индекс 7 пт, мелкий индекс – 5 пт; крупный символ – 18 пт; мелкий символ – 12 пт.

Необходимо учитывать, что **полоса набора – 75 мм**. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**

Все русские и греческие буквы (Ω, η, β, μ, ω, υ и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций (sin, cos, tg и т.д.) – прямым шрифтом. Латинские буквы – прямым шрифтом.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться.

10. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

11. Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF, JPEG, PNG) с разрешением не ниже 300 dpi и публикуются в черно-белом (градации серого) варианте. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MS Word, недопустимы.**

Рисунки встраиваются в текст через опцию «Вставка-Рисунок-Из файла» с обтеканием «В тексте» с выравниванием по центру страницы без абзацного отступа. Иные технологии вставки и обтекания **не допускаются**.

12. **Список литературы к статье обязателен** и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы (не менее 10). Пристатейные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

13. В материале для публикации следует использовать только общепринятые сокращения.

Все материалы направлять по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94. ЮЗГУ, редакционно-издательский отдел.

Тел.(4712) 22-25-26, тел/факс (4712) 50-48-00.

E-mail: [rio\\_kursk@mail.ru](mailto:rio_kursk@mail.ru)

Изменения и дополнения к правилам оформления статей и информацию об опубликованных номерах можно посмотреть на официальном сайте журнала: <https://swsu.ru/izvestiya/seriesivt/>.