

АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2020

№ 3 (51)

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК России для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по следующим научным специальностям.

Группа специальностей 05.11.00 «Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы»:

- 05.11.01 – Приборы и методы измерения (по видам измерений) (технические науки);
- 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (по отраслям) (технические науки);
- 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки).

Группа специальностей 05.13.00 «Информатика, вычислительная техника и управление»:

- 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям) (технические науки);
- 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления (технические науки);
- 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах (технические науки);
- 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки);
- 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки);
- 05.13.19 – Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки).

Журнал входит в базу данных Ulrich's Periodicals Directory.

Астрахань

Издательский дом «Астраханский университет»

2020

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом
Астраханского государственного университета

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ:
управление и высокие технологии
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2020
№ 3 (51)

Редакционная коллегия

И.М. Ажмухамедов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационная безопасность» Астраханского государственного университета (главный редактор)

И.В. Аникин, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Системы информационной безопасности» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ

А.А. Большаков, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования и управления» Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)

Ж.И. Батырканов, доктор технических наук, профессор, профессор Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (Кыргызская Республика, г. Бишкек)

С.Н. Гончаренко, доктор технических наук, профессор, профессор Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (г. Москва)

Л.А. Демидова, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Вычислительной и прикладной математики» Рязанского государственного радиотехнического университета (г. Рязань)

И.Ю. Квятковская, доктор технических наук, профессор, директор Института информационных технологий и коммуникаций Астраханского государственного технического университета

А.Г. Кравец, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования» Волгоградского государственного технического университета

В.Ю. Кузнецова, ассистент кафедры информационной безопасности Астраханского государственного университета (ответственный секретарь)

Ю.В. Литовка, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений» Тамбовского государственного технического университета

А.М. Лихтер, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Общая физика» Астраханского государственного университета

А.А. Лобатый, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы и технологии» Белорусского национального технического университета (Республика Беларусь, г. Минск)

В.В. Морозов, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (г. Владимир)

Е.В. Никульчев, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Управление и моделирование систем» Московского технологического университета (МИРЭА) (г. Москва)

В.О. Осипян, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Информационные технологии» Кубанского государственного университета (г. Краснодар)

И.Ю. Петрова, доктор технических наук, профессор, первый проректор Астраханского государственного архитектурно-строительного университета, заведующая кафедрой САПР Астраханского государственного архитектурно-строительного университета

А.В. Рыбаков, кандидат физико-математических наук, директор «Физико-математического института» Астраханского государственного университета; доцент кафедры электротехники, электроники и автоматики Астраханского государственного университета

А.В. Скрипаль, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Медицинская физика» Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

И.Б. Старченко, доктор технических наук, профессор, ООО «Параметрика», научный руководитель (г. Таганрог Ростовской области)

Ю.Ю. Тарасевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор Астраханского государственного университета, заведующий лабораторией «Математическое моделирование и информационные технологии в науке и образовании»

Т.Л. Тен, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы» Карагандинского экономического университета (Республика Казахстан, г. Караганда)

Е.Н. Тищенко, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и защита информации» Ростовского государственного экономического университета (РИНХ) – г. Ростов-на-Дону

М.А. Ураксеев, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника» Уфимского государственного авиационного технического университета

С.А. Филист, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Биомедицинская инженерия» Юго-Западного государственного университета (г. Курск)

Л.Р. Фиопова, доктор технических наук, профессор, декан факультета Вычислительной техники, заведующая кафедрой «Информационное обеспечение управления и производства» Пензенского государственного университета

В.А. Цимбал, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматизированные системы управления» (Филиал Военной академии РВСН им. Петра Великого МО в г. Серпухов Московской области)

Н.К. Юрков, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование и производство радиоаппаратуры» Пензенского государственного университета

N.A. Kolesova, PhD, Check Point Software Technologies LTD, Tel-Aviv, Israel

Serg Miranda, PhD (Toulouse University, France), – Master thesis at UCLA (University of California, Los Angeles with an INRIA Scholarship), Professor of Computer Science, University of Nice – Sophia Antipolis (Nice, France), Director of the CS dept. and MBDS innovation lab (www.mbd-fr.org)

Журнал выходит 4 раза в год
Все материалы, поступающие в редколлегию журнала,
проходят независимое рецензирование

© Астраханский государственный университет,
Издательский дом «Астраханский университет», 2020
© Свиридов В. Б., дизайн обложки, 2020

ASTRAKHAN STATE UNIVERSITY

PRIKASPIYSKIY ZHURNAL:
Upravlenie i Vysokie Tekhnologii

CASPIAN JOURNAL:
Control and High Technologies

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

2020
No. 3 (51)

The journal is included in the list of the reviewed scientific journals recommended by VAK of Russia for the publication of the main scientific results of theses for the candidate of science degree, for the doctor of science degree on the following scientific specialties.

Group of specialties 05.11.00 “Instrument engineering, measurement science, information and measuring devices and systems”:

05.11.01 – Instruments and measurement methods (by measurement types) (technical sciences);

05.11.16 – Information-measuring and control systems (by branches) (technical sciences);

05.11.17 – Medical instruments, systems and items (technical sciences).

Group of specialties 05.13.00 “Informatics, computer technique and control”:

05.13.01 – System analysis, information control and processing (by branches) (technical sciences);

05.13.05 – Components and devices of computational tools and control systems (technical sciences);

05.13.10 – Management in social and economic systems (technical sciences);

05.13.11 – Mathematical software and software for computing machines, computer systems and networks (technical sciences);

05.13.18 – Mathematical modelling, numerical methods and complexes of programmes (technical sciences);

05.13.19 – Information security methods and systems, information security (technical sciences).

The journal is included into the database Ulrich’s Periodicals Directory.

Astrakhan
Publishing House “Astrakhan University”
2020

Recommended by the Editorial and Publishing Board
of Astrakhan State University

**CASPIAN JOURNAL:
Control and High Technologies**

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

**2020
No. 3 (51)**

Editorial Board

I.M. Azhmukhamedov, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of Information Security Department, Astrakhan State University (Editor-in-Chief)

I.V. Anikin, Doct. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of Information Security System Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI»

A.A. Bolshakov, Doct. Sci. (Engineering), Professor of «Systems of Automated Design Engineering and Control» department, St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)

Zh.I. Batyrkanov, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razza-kov (Kyrgyz Republic, Bishkek)

S.N. Goncharenko, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the National University of Science and Technology «MISIS» (Moscow)

L.A. Demidova, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Computational and Applied Mathematics Department, Ryazan State Radio Engineering University (Ryazan)

I.Yu. Kvyatkovskaya, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of «Information Technologies and Communications» Institute of the Astrakhan State Technical University

A.G. Kravets, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Automated Design Engineering Systems and Search Constructing Department, Volgograd State Technical University

V.Yu. Kuznetsova, assistant of Information Security Department, Astrakhan State University (Executive Editor)
Yu.V. Litovka, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Automated Support System for Decision-Making, Tambov State Technical University

A.M. Likhter, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of General Physics, Astrakhan State University

A.A. Lobaty, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of Information Systems and Technologies Department, Belarusian National Technical University (Belarus, Minsk)

V.V. Morozov, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor of the Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov (Vladimir)

E.V. Nikulchev, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the System Management and Modeling Department, Moscow Technological University (Moscow)

V.O. Osipyan, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Professor of the Kuban State University (Krasnodar)

I.Yu. Petrova, Doct. Sci. (Engineering), Professor, First Vice-Rector of the Astrakhan State Architectural and Construction University, Head of the CAD department of Astrakhan State Architectural and Construction University

A.V. Rybakov, Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Director of the Institute of Physics and Mathematics, Astrakhan State University

A.V. Skripal, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Professor, Head of Medical Physics Department of the Saratov national research State University named after N.G. Chernyshevsky

I.B. Starchenko, Doct. Sci. (Engineering), Professor, OOO «Parametrica» (Taganrog, Rostov Oblast), Research Supervisor

Yu.Yu. Tarasevich, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Professor, Professor of the Astrakhan State University, head of the laboratory «Mathematical modeling and information technologies in science and education»

T.L. Ten, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Karaganda Economic University (Republic of Kazakhstan, Karaganda)

E.N. Tishchenko, Doct. Sci. (Economics), Professor, Head of the Information Technologies & Information Security Department, Rostov State University of Economics, Rostov-on-Don

M.A. Urakseev, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Information and Measuring Equipment department of Ufa State Aviation Technical University

S.A. Filist, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of Biomedical Engineering Department, Southwest State University (Kursk)

L.R. Fionova, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Dean of the Computer Technology Faculty, Head of the Department «Information Support of Management and Production, Penza State University

V.A. Tsimbal, Doct. Sci. (Engineering), Honored Worker of Science of the Russian Federation, Professor, Professor of the Automated Control Systems Department (Branch of the Military Academy of the Russian Strategic Missile Forces named after Peter the Great of the Moscow Oblast, Serpukhov, Moscow Oblast)

N.K. Yurkov, Honored worker of science of the Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of the department «Designing and production of the radio equipment», Penza State University

N.A. Kolesova, PhD, Check Point Software Technologies LTD, Tel-Aviv, Israel

Serg Miranda, PhD (Toulouse University, France), – Master thesis at UCLA (University of California, Los Angeles with an INRIA Scholarship), Professor of Computer Science dept., University of Nice – Sophia Antipolis (Nice, France), Director of the CS department and MBDS innovation lab (www.mbd-s-fr.org)

The journal is published four times a year
All materials that come to the Editorial Board of the journal
are subject to independent peer-review

© Astrakhan State University,
Publishing House «Astrakhan University», 2020
© V. B. Sviridov, cover design, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

С.А. Ляшева, О. Г. Морозов, М. П. Шлеймович

Анализ весовой модели для сжатия изображений на основе вейвлет-преобразования 9–22

Н. В. Бестаева, С. В. Окладникова

Информационные модели процесса организации
итоговой государственной аттестации в вузе 22–32

В. Ю. Кузнецова, И. М. Ажмухамедов

Методика принятия решений по выдаче займов
в микрофинансовых организациях и ее программная реализация..... 32–39

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

В. С. Горкавенко, В. Ф. Шуршев

Модель автоматизированного построения навигационного графа
пользовательского интерфейса мобильного приложения 40–52

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

В. А. Егунов, С. В. Панюлайтис

Распознавание речевых команд с использованием нейронных сетей 53–61

Е. Е. Иванова, Л. И. Жарких

Электронно-обучающая система «Исследование процессов взаимодействия
компонентов клеточной мембраны с различными веществами»..... 61–73

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

И. М. Ажмухамедов, В. Ю. Кузнецова

Информационная безопасность в цифровой образовательной среде:
анализ информационных рисков и выработка стратегий защиты
школьников от негативных последствий цифровизации образования 74–83

М. М. Пулято, А. С. Макарян, Ш. М. Чич, В. К. Маркова

Исследование системы идентификации и подтверждения легитимности
доступа на основе динамических методов биометрической аутентификации 83–93

М. М. Пулято, А. С. Макарян

Кибербезопасность как неотъемлемый атрибут
многоуровневого защищенного киберпространства..... 94–102

ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Д. А. Чернухин, В. Ф. Шуршев

Реализация модели персептрона на восьмибитном микроконтроллере 103–113

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ
И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ю. М. Бруштейн, А. С. Чурюмова, Д. А. Молимонов

Анализ методов и аппаратно-программных решений

для исследования тепло-холодовой чувствительности частей тела человека 114–127

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

В. М. Жуков, Д. Ю. Муромцев

Метод синтеза мостовых измерителей и датчиков для информационно-

измерительных и управляющих систем антенными согласующими устройствами 128–134

А. В. Рыбаков, А. М. Лихтер, А. Б. Погожева,

А. В. Михайлова, А. Б. Дусалиев

Проектирование робототехнических манипуляторов

с системой компьютерного зрения для сбора томатов 135–147

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 148

CONTENTS

INFORMATICS, COMPUTER TECHNIQUE AND CONTROL

SYSTEM ANALYSIS, CONTROL AND INFORMATION PROCESSING

S. A. Lyasheva, O. G. Morozov, M. P. Shleyimovich

Weight model analysis for image compression based on wavelet transform..... 9–22

N. V. Bestaeva, S. V. Okladnikova

Information model of the process of organization
of the final state certification in the university 22–32

V. Yu. Kuznetsova, I. M. Azhmukhamedov

Loan decision-making technique in microfinance organizations
and its program implementation 32–39

MATHEMATICAL SOFTWARE AND SOFTWARE FOR COMPUTING MACHINES, COMPUTER SYSTEMS AND NETWORKS (TECHNICAL SCIENCES)

V. S. Gorkavenko, V. F. Shurshev

Model of automated building of the navigation graph
of the user interface of the mobile application..... 40–52

MATHEMATICAL MODELLING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM SYSTEMS

V. A. Egunov, S. V. Paniulaitis

Recognition of speech commands using neural networks 53–61

E. E. Ivanova, L. I. Zharkikh

Electron-learning system “Research of processes of interaction
of cellular membrane components with various substances” 61–73

INFORMATION SAFETY AND INFORMATION PROTECTION

I. M. Azhmukhamedov, V. Yu. Kuznetsova

Information security in the digital educational environment: analysis of information
risks and development of strategies to protect schoolchildren
from negative consequences of digitalization of education 74–83

M. M. Putyato, A. S. Makaryan, Sh. M. Chich, V. K. Markova

System development for identification and confirmation
of access legitimacy based on biometric authentication dynamic methods 84–93

M. M. Putyato, A. S. Makaryan

Cyber security as an essential attribute of multilevel protected cyber space 94–102

ELEMENTS AND DEVICES OF COMPUTER EQUIPMENT AND CONTROL SYSTEMS

D. A. Chernukhin, V. F. Shurshev

Realization of the perceptron model using an eight-bit microcontroller 103–113

INSTRUMENT ENGINEERING, MEASUREMENT SCIENCE, INFORMATION AND MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

MEDICAL INSTRUMENTS, SYSTEMS AND ITEMS

Yu. M. Brumshteyn, A. S. Churumova, D. S. Molimonov

Analysis of methods and hardware-software solutions
for investigation of thermal-cold sensitivity of human body parts 114–127

INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS

V. M. Zhukov, D. Yu. Muromtsev

Method of synthesis of bridge meters and sensors for information-measuring
and control systems with antenna matching devices 128–134

***A. V. Rybakov, A. M. Likhter, A. B. Pogozheva,
A. V. Mikhailova, A. B. Dusaliev***

Design of robotic manipulators with computer vision system
for vegetables harvesting 135–147

RULES FOR THE AUTHORS 148

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.932

АНАЛИЗ ВЕСОВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Статья поступила в редакцию 28.05.2020, в окончательном варианте – 15.09.2020.

Ляшева Стелла Альбертовна, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, 420111, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 10,

кандидат технических наук, доцент, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2199-3924>, РИНЦ AuthorID 701461, e-mail: salyasheva@kai.ru

Морозов Олег Геннадьевич, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, 420111, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 10,

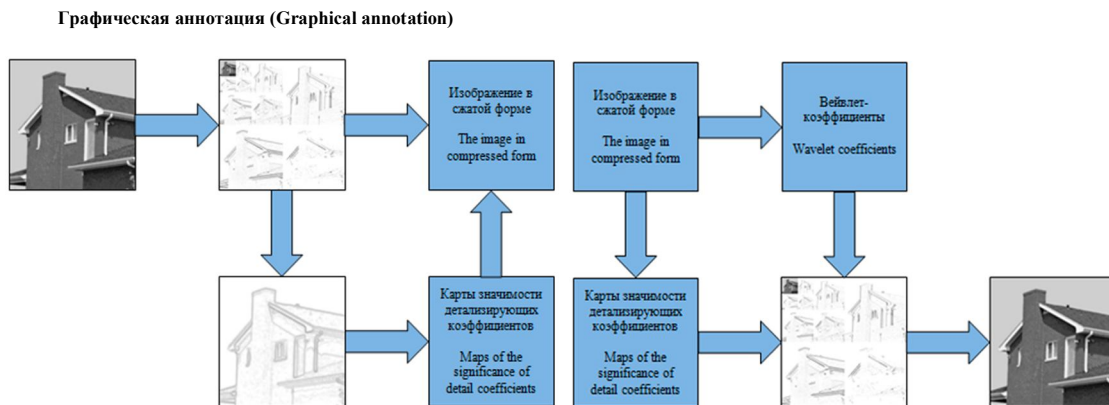
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиوفотоники и микроволновых технологий, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4779-4656>, РИНЦ AuthorID 388026, e-mail: ogmorofov@kai.ru

Шлеймович Михаил Петрович, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, 420111, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 10,

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3021-5139>, РИНЦ AuthorID 700796, e-mail: mpshleymovich@kai.ru

В работе предложен новый метод сжатия изображений на основе кратно-масштабного вейвлет-преобразования. В результате его выполнения формируются данные, которые содержат информацию о размерах изображения, начальном уровне преобразования, аппроксимирующие коэффициенты, карты значимости детализирующих коэффициентов и значимые детализирующие коэффициенты. Карты значимости содержат бинарные значения, определяющие необходимость использования соответствующих им детализирующих коэффициентов для восстановления изображения. Алгоритм построения карт значимости содержит следующие шаги: кратно-масштабное вейвлет-преобразование, оценивание по детализирующим коэффициентам величины энергии перепада в каждом пикселе на всех уровнях многомасштабного представления, вычисление весовых значений для детализирующих коэффициентов на каждом уровне с точки зрения их вклада в восприятие изображения с учетом взаимосвязи между масштабными уровнями, пороговая обработка весов. В качестве значимых детализирующих коэффициентов на каждом уровне выбираются те, веса которых превышают заданное пороговое значение. Предложенный метод позволяет сократить объем изображения за счет отбрасывания незначимых детализирующих коэффициентов. Для повышения эффективности сжатия выполняется энтропийное кодирование элементов карт значимости и значимых детализирующих коэффициентов с использованием адаптивного метода Хаффмена. Предложенный метод позволяет получить характеристики сжатия и восстановления, сопоставимые и для тестовых изображений превышающие по качеству соответствующие характеристики популярных форматов представления изображений. Для сокращения времени на анализ изображений и принятие решений предложенный метод предусматривает возможность параллельной реализации; выполнение прогрессивного сжатия и восстановления.

Ключевые слова: обработка изображений, анализ изображений, вейвлет-преобразование изображений, весовая модель изображений, сжатие изображений



WEIGHT MODEL ANALYSIS FOR IMAGE COMPRESSION BASED ON WAVELET TRANSFORM

The article was received by the editorial board on 28.05.2020, in the final version – 15.09.2020.

Lyasheva Stella A., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, 10 K. Marx St., Kazan, 420111, Republic of Tatarstan, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2199-3924>, RISC AuthorID 701461, e-mail: salyasheva@kai.ru

Morozov Oleg G., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, 10 K. Marx St., Kazan, 420111, Republic of Tatarstan, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department for Radio-Photonics and Microwave Technologies, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4779-4656>, RISC AuthorID 388026, e-mail: ogmorozov@kai.ru

Shleymovich Mikhail P., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, 10 K. Marx St., Kazan, 420111, Republic of Tatarstan, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department for Automated Systems for Information Processing and Control, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3021-5139>, RISC AuthorID 700796, e-mail: mpshleymovich@kai.ru

A new method of image compression based on multi-resolution wavelet transform is proposed. As a result of its execution, data is generated that contains information about image sizes, the initial transform level, approximating coefficients, maps of the significance of detail coefficients, and significant detail coefficients. Maps of the significance contain binary values that determine the need for corresponding detailed coefficients for image recovery. The algorithm for constructing significance maps contains the following steps: multi-resolution wavelet transformation, estimation of the difference energy value in each pixel at all levels of the multiscale representation using the detailing coefficients, calculation of weight values for the detailing coefficients at each level in terms of their contribution to image perception, taking into account the relationship between the scale levels, and threshold weight processing. As a significant detailing coefficient at every level are selected, the weight of which is greater than a predetermined threshold value. The proposed method reduces the image size by discarding insignificant detail coefficients. To increase the compression efficiency, entropy encoding of elements of significance maps and significant detailing coefficients is performed using the adaptive Huffman method. The proposed method allows you to obtain compression and recovery characteristics that are comparable and higher in quality for test images than the corresponding characteristics of popular image presentation formats. To reduce the time spent on image analysis and decision-making, it provides the possibility of parallel implementation and performing progressive compression and recovery.

Keywords: image processing, image analysis, image wavelet transform, image weight model, image compression

Введение. В настоящее время практически во всех сферах человеческой деятельности находят применение технологии компьютерного зрения, базирующиеся на программно-аппаратных средствах обработки и анализа изображений. Данные технологии используются для обнаружения и распознавания объектов в системах дистанционного зондирования Земли [12], управления технологическими процессами [1], контроля безопасности движения транспортных средств [4], навигации беспилотных летательных аппаратов [8], биометрической идентификации человека [5] и др.

Согласно общепринятой концепции, процедуры обработки и анализа изображений можно классифицировать по виду входных и выходных данных на три класса [9, 2]:

- процедуры низкого уровня, для которых входные и выходные данные представляют собой совокупности, обычно имеющие вид матриц, скалярных значений яркости или векторных значений цвета пикселей (атрибуты пикселей);
- процедуры среднего уровня, для которых входные данные – это совокупности атрибутов пикселей, а выходные данные – маркеры или дескрипторы пикселей или их областей;
- процедуры высокого уровня, для которых входные данные – это маркеры или дескрипторы пикселей или их областей (возможно, вместе с атрибутами пикселей), а выходные данные – метки образов на изображении.

В качестве примеров процедур низкого уровня можно указать геометрические преобразования изображений (поворот и масштабирование) и удаление шума на изображениях. Примерами процедур среднего уровня являются сегментация и вычисление признаков изображений. Примеры процедур высокого уровня – обнаружение заданных объектов на изображениях и контекстный поиск изображений в коллекциях.

Среди других процедур среднего уровня в системах, использующих технологии компьютерного зрения, часто необходимо реализовать процедуры сжатия изображения [3, 11]. Это связано с тем, что изображения представляют собой данные сравнительно больших объемов. Например, одно полутоновое изображение размера 1920×1080 пикселей (разрешение Full HD, один байт на пиксель) в несжатом виде будет иметь объем примерно 2 Мб. При этом часто необходимо записывать в память или передавать по сети серии изображений, например, при управлении беспилотным транспортным средством или мониторинге охраняемой территории. Также часто требуется обеспечить сохранение и/или передачу изображений в реальном времени. Применение процедур сжатия позволяет повысить эффективную емкость устройств хранения и эффективную скорость работы устройств передачи изображений без значительного увеличения их стоимости.

Несмотря на то, что разработано и применяется на практике большое количество эффективных методов сжатия изображений, научно-исследовательские работы в данной сфере не прекращаются. Это связано, в первую очередь, с объективными потребностями и прогрессом в области создания новых программно-аппаратных средств компьютерного зрения, предназначенных для обработки больших объемов видеоинформации в реальном времени.

Таким образом, создание новых методов сжатия изображений является актуальной и практически значимой задачей. Ее решение позволяет обеспечить эффективные программно-аппаратные реализации для систем обработки информации и управления на базе систем компьютерного зрения.

Методы сжатия изображений. Практически все применяемые на практике подходы к сжатию изображений могут быть представлены с помощью общей схемы, содержащей следующие три шага [10]:

- 1) снижение межэлементной избыточности;
- 2) квантование данных;
- 3) кодирование.

Сжатие данных основано на выявлении и сокращении избыточности, которая в значительной степени связана с корреляцией между элементами изображения. Для снижения ее влияния можно применить какое-нибудь декоррелирующее преобразование. Получить изображение с полностью декоррелированными элементами можно с помощью преобразования Карунена – Лозва [10, 11]. Однако его практическое применение затруднено из-за отсутствия быстрых вычислительных алгоритмов и необходимости иметь статистические данные для построения ковариационной матрицы и вектора математических ожиданий пикселей изображения. Поэтому вместо преобразования Карунена – Лозва применяют преобразования, позволяющие получить его приближения. Среди различных дискретных преобразований, имеющих быстрые алгоритмы вычислений, наилучшее приближение к преобразованию Карунена – Лозва применительно к обработке изображений дает дискретное косинусное преобразование [10, 11]. Кроме этого, часто применяют методы предсказания. В них предусмотрено вычисление коэффициентов полинома заданного порядка, с помощью которого по атрибутам опорных пикселей изображения предсказываются атрибуты оставшихся пикселей. После этого формируются разницы между предсказанными и фактическими значениями, которые менее коррелированы по сравнению с исходными значениями.

Снижение межэлементной избыточности позволяет получить элементы, которые влияют на восприятие изображения независимо друг от друга. Тогда можно оценить их значимость с точки зрения изображения в целом, т.е. можно оценить наиболее значимую часть информации об изображении. Для этой цели используют методы скалярного и векторного квантования [22]. При скалярном квантовании элементы обрабатываемого набора данных квантуются независимо друг от друга. При векторном квантовании данные представляются в виде упорядоченных наборов – векторов. В этом случае определяют некоторое правило, по которому каждому вектору исходного

пространства конечной размерности ставится в соответствие некоторый кодовый вектор из того же пространства, принадлежащий определенному ограниченному множеству, которое носит название кодовой книги. Далее вместо исходного вектора дальнейшей обработке подвергается номер соответствующего ему кодового вектора.

На последнем шаге общей схемы сжатия выполняется кодирование элементов данных, полученных на предыдущих шагах. Здесь часто применяют методы кодирования Хаффмена, арифметического кодирования и кодирования длин серий [2, 21, 22].

Наиболее полно представленная общая схема реализуется в сжатии по стандарту JPEG, в котором применяются цветовые преобразования, прореживание цветовых координат, разбиение элементов данных на блоки, дискретное косинусное преобразование, квантование частотных коэффициентов, кодирование длин серий, кодирование Хаффмена [7, 13].

Сжатие по описанной схеме относится к сжатию с потерями. Для обеспечения сжатия без потерь на первом шаге должны применяться полностью обратимые декоррелирующие преобразования, а шаг квантования элементов данных пропускается. Несмотря на то, что при сжатии без потерь восстановленное и исходное изображения полностью совпадают, на практике большей популярностью пользуются методы сжатия с потерями. Причина – они позволяют получить оптимальные соотношения (с точки зрения решаемых задач) между показателями качества сжатия и восстановления. К настоящему времени разработано множество подходов, обеспечивающих требуемые характеристики процедур сжатия [25].

Многие эффективные методы сжатия изображений базируются на применении различных вейвлет-преобразований [21, 22]. Одним из самых известных здесь является сжатие по стандарту JPEG2000 [18]. Схема этого сжатия для цветных изображений похожа на схему сжатия по стандарту JPEG и содержит операции разбиения изображений на тайлы, сдвиг основания данных и преобразования цветового пространства (для полутоновых изображений последняя операция не требуется), дискретное вейвлет-преобразование, квантование и арифметическое кодирование.

В общем случае выделяют два подхода к сжатию изображений на основе вейвлет-преобразования – внутриподдиапазонный и межподдиапазонный. Внутриподдиапазонные методы (EBCOT, SPECK, SWEET и др.) основаны на устранении корреляции между соседними вейвлет-коэффициентами в каждом из поддиапазонов по отдельности. Межподдиапазонные методы (EZW, SPIHT и др.) основаны на устранении корреляции между вейвлет-коэффициентами, принадлежащими к разным поддиапазонам.

Применительно к задачам космического, медицинского и военного характера активно исследуется метод SPIHT, базирующийся на разложении множества вейвлет-коэффициентов по иерархическим деревьям (нуль-деревьям, пространственно ориентированным деревьям) [19, 20]. Основная идея здесь заключается в следующем. Вейвлет-преобразование разлагает изображение на высокочастотные (содержат детализирующую информацию) и низкочастотные поддиапазоны (содержат аппроксимирующую информацию). При этом основная часть энергии изображения концентрируется в низкочастотных поддиапазонах; имеется пространственное подобие между поддиапазонами, и детализирующая информация значительно изменяется при переходе от одного поддиапазона к другому.

Одной из важных особенностей алгоритма SPIHT является возможность прогрессивного сжатия. Его основная цель состоит в получении и сохранении/передаче наиболее важной части информации об изображении. Это позволяет постепенно улучшать изображение при восстановлении по мере передачи по сети или чтении из памяти дополнительной (детализирующей) информации. Применение такого подхода позволяет остановить сжатие и/или восстановление изображения при достижении заданного соотношения между показателями сокращения избыточности и качества восстановления информации.

Основной задачей при создании подобных методов является анализ значимости вейвлет-коэффициентов и обеспечении сохранения/передачи информации о результатах этого анализа.

Весовая модель изображений. В данной работе рассматривается метод сжатия изображений на основе вейвлет-преобразования и анализа значимости детализирующих вейвлет-коэффициентов.

Методы на основе вейвлет-преобразований относятся к классу многомасштабных методов. Они естественным образом связаны с представлением на изображениях объектов реального мира, восприятие которых, как правило, имеет иерархическую природу (например, на одном уровне восприятия объекты различаются, а на другом – представляют собой единую сливающуюся область). Кроме того, эффективность этих методов базируется на том, что они позволяют смоделировать процессы анализа информации в биологическом зрении. Исследования в этой области показали сходство между зрением и многомасштабной обработкой изображений. Было признано, что

рецептивные поля клеток зрительной коры млекопитающих можно охарактеризовать как пространственно локализованные, ориентированные и полосовые (селективные по структуре в различных пространственных масштабах) [16].

К достоинствам вейвлетных методов можно отнести такие возможности:

- локализации особенностей изображений в пространственной и частотной областях;
- организации многоуровневой обработки изображений для уточнения характеристик;
- выбора наилучшего представления изображений для вычисления их характеристик;
- реализации быстрых алгоритмов вычисления характеристик изображений.

Различают непрерывные и дискретные вейвлет-преобразования [17]. К дискретным вейвлет-преобразованиям относятся также кратно-масштабные вейвлет-преобразования. При таких преобразованиях изображение представляется в виде матрицы аппроксимирующих коэффициентов и набора матриц детализирующих коэффициентов.

На основе кратно-масштабных вейвлет-преобразований можно построить процедуры анализа детализирующих коэффициентов, позволяющие локализовать изменения значений яркости или цвета на изображениях. На рисунке 1 показаны тестовые изображения и результаты их преобразования. В качестве тестовых изображений выбраны стандартные полутонные изображения размера 512×512 пикселей, взятые из коллекции USC-SIPI [24]. В правой части рисунка в верхнем ряду слева направо приведены изображения boat, cameraman и house, в среднем ряду слева направо – jetplane, lake и livingroom, в нижнем ряду слева направо – mandril, peppers и pirate. В левой части рисунка в соответствующих местах приведены результаты трехуровневого кратно-масштабного ортогонального вейвлет-преобразования Хаара указанных изображений. При этом значения аппроксимирующих коэффициентов отмечены точками копий исходных изображений, а значения детализирующих коэффициентов отмечены градациями серого – более темные «яркости» соответствуют большим абсолютным значениям коэффициентов. Из рассмотрения рисунка видно, что изменение значений яркости на исходных изображениях наблюдается в точках, соответствующих относительно большим абсолютным значениям детализирующих вейвлет-коэффициентов.



Рисунок 1 – К преобразованию изображений. Слева – исходные тестовые изображения. Справа – кратно-масштабное ортогональное вейвлет-преобразование Хаара исходных изображений

Для определения точек, в которых наблюдается значительный перепад яркости, можно воспользоваться моделью энергетических признаков [14, 15, 23]. В рамках данной модели рассматриваются оценки вклада пикселей в общую энергию изображения на основе анализа значений детализирующих вейвлет-коэффициентов на различных уровнях разложения от начального уровня j_0 до конечного уровня $J-1$. Число J определяется по формуле:

$$J = \log_2 N, \quad (1)$$

где N – количество строк и столбцов изображения.

При анализе уровня j вейвлет-разложения энергию перепада $\Delta E_j(m, n)$ в точке с координатами (m, n) можно оценить с помощью выражения:

$$\Delta E_j(m, n) = LH_j^2(m, n) + HL_j^2(m, n) + HH_j^2(m, n), \quad (2)$$

где $LH_j(m, n)$, $HL_j(m, n)$, $HH_j(m, n)$ – детализирующие коэффициенты с координатами (m, n) на уровне j . В случае применения кратно-масштабного ортогонального преобразования Хаара указанные коэффициенты вычисляются следующим образом:

$$LH_j(m, n) = \frac{LL_{j+1}(2m, 2n) + LL_{j+1}(2m+1, 2n) - LL_{j+1}(2m, 2n+1) - LL_{j+1}(2m+1, 2n+1)}{4}, \quad (3)$$

$$HL_j(m, n) = \frac{LL_{j+1}(2m, 2n) - LL_{j+1}(2m+1, 2n) + LL_{j+1}(2m, 2n+1) - LL_{j+1}(2m+1, 2n+1)}{4}, \quad (4)$$

$$HH_j(m, n) = \frac{LL_{j+1}(2m, 2n) - LL_{j+1}(2m+1, 2n) - LL_{j+1}(2m, 2n+1) + LL_{j+1}(2m+1, 2n+1)}{4}. \quad (5)$$

В выражениях (3)–(5) LL_{j+1} обозначает матрицу аппроксимирующих коэффициентов уровня $j+1$. Значения аппроксимирующих коэффициентов – это значения яркости копии исходного изображения на соответствующем уровне. Таким образом, при кратно-масштабном вейвлет-преобразовании каждый детализирующий коэффициент уровня j связан с четырьмя пикселями копии изображения уровня $j+1$, что определяет взаимосвязь между пикселями различных уровней представления изображения (рис. 2). Для рассмотренного преобразования Хаара это четко видно из выражения для вычисления аппроксимирующих коэффициентов:

$$LL_j(m, n) = \frac{LL_{j+1}(2m, 2n) + LL_{j+1}(2m+1, 2n) + LL_{j+1}(2m, 2n+1) + LL_{j+1}(2m+1, 2n+1)}{4}, \quad (6)$$

и выражений для обратного преобразования:

$$LL_{j+1}(2m, 2n) = \frac{LL_j(m, n) + LH_j(m, n) + HL_j(m, n) + HH_j(m, n)}{4}, \quad (7)$$

$$LL_{j+1}(2m+1, 2n) = \frac{LL_j(m, n) + LH_j(m, n) - HL_j(m, n) - HH_j(m, n)}{4}, \quad (8)$$

$$LL_{j+1}(2m, 2n+1) = \frac{LL_j(m, n) - LH_j(m, n) + HL_j(m, n) - HH_j(m, n)}{4}, \quad (9)$$

$$LL_{j+1}(2m+1, 2n+1) = \frac{LL_j(m, n) - LH_j(m, n) - HL_j(m, n) + HH_j(m, n)}{4}. \quad (10)$$

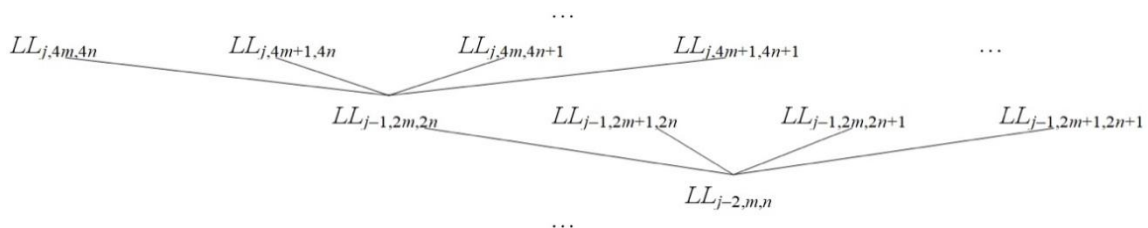


Рисунок 2 – Взаимосвязь копий изображений на различных уровнях кратно-масштабного вейвлет-преобразования

Исходя из приведенных рассуждений, всем пикселям, всем точкам с координатами (m, n) на уровне j можно поставить в соответствие оценки энергии перепада яркости как этого уровня, так и всех уровней от j_0 до $j-1$. Поэтому в рамках представления изображения на основе модели энергетических признаков для его анализа можно определить функцию вычисления весовых значений:

$$w_j(m, n) = T_j(\Delta E_{j_0}(m, n), \dots, \Delta E_j(m, n)), \quad (11)$$

где $w_j(m, n)$ – вес точки с координатами (m, n) представления изображения на уровне j . Этот вес отражает значимость точки в отношении вклада в общую энергию изображения; $T_j(\cdot)$ – функция вычисления весов на уровне j ; $\Delta E_{j_0}(m, n)$, ..., $\Delta E_j(m, n)$ – оценки энергии в точке с координатами (m, n) , полученные на уровнях j_0 , ..., j .

На основе весовых значений всех уровней можно построить весовую модель исходного изображения, а также весовые модели его представлений на различных уровнях. Весовые модели для тестовых изображений показаны на рисунке 3, где более темные яркости соответствуют большим значениям весов.



Рисунок 3 – Иллюстрация использования весовых моделей исходных изображений

Из сравнения рисунков 1 и 3 видно, что анализ весовых моделей позволяет выявить характерные особенности изображений, значимые с точки зрения восприятия. Это, в свою очередь, можно использовать для анализа значимости изменений яркости в точках изображения, представленного в виде совокупности коэффициентов вейвлет-преобразования. Поскольку локализация изменений яркости на изображении связана со значениями детализирующих коэффициентов, то весовые модели позволяют определить их значимость для обратного преобразования.

Сжатие изображений с использованием весовой модели. Рассуждения относительно использования весовой модели для анализа значимости коэффициентов вейвлет-преобразования могут быть положены в основу метода сжатия изображений. Для иллюстрации влияния детализирующих вейвлет-коэффициентов на объем сжатого и качество восстановленного изображений на рисунке 4 показаны результаты обратного преобразования тестового изображения boat с отбрасыванием их части. В верхнем ряду слева направо показаны восстановленные изображения без использования детализирующих коэффициентов уровней выше 0, 1 и 2, в среднем ряду – уровней выше 3, 4 и 5, в нижнем ряду – уровней выше 6, 7 и 8 соответственно.

Представленные на рисунке 4 копии исходного изображения можно также интерпретировать как «последовательное добавление» к аппроксимирующим коэффициентам уровня «0» детализирующих коэффициентов старших уровней. При этом видно, что при формировании копий более высоких уровней их качество повышается. Для получения представления о влиянии сокращения количества детализирующих коэффициентов на объем сжатого изображения в таблице 1 приведены объемы показанных на рисунке 4 копий изображения boat в формате JPEG, PNG и TIFF. В несжатом виде в формате BMP все указанные копии имеют одинаковые объемы, равные 257,1 Кб.

Таблица 1 – Объемы копий изображения boat в формате JPEG

Уровень	0	1	2	3	4	5	6	7	8
JPEG, Кб	5,02	5,1	5,15	5,26	5,48	5,87	8,45	54,8	73,6
PNG, Кб	2,12	3,57	6,35	10,7	19,5	35,8	63,7	49,6	102,8
TIFF, Кб	5,87	6,81	8,71	11,1	17,5	27,7	45,5	68,6	109,9

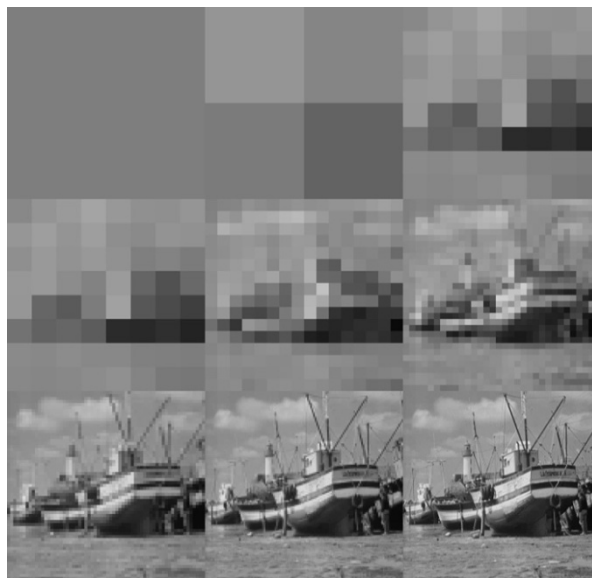


Рисунок 4 – Обратное преобразование тестового изображения boat

Таким образом, можно поставить задачу определения оптимального набора детализирующих вейвлет-коэффициентов, необходимых для представления изображения. Представление изображения в виде множества аппроксимирующих коэффициентов и некоторого количества детализирующих коэффициентов существенно сокращает его объем и может быть положено в основу процедуры его сжатия. Она показана в общем виде на рисунке 5 (предполагается, что вейвлет-преобразование уже выполнено).

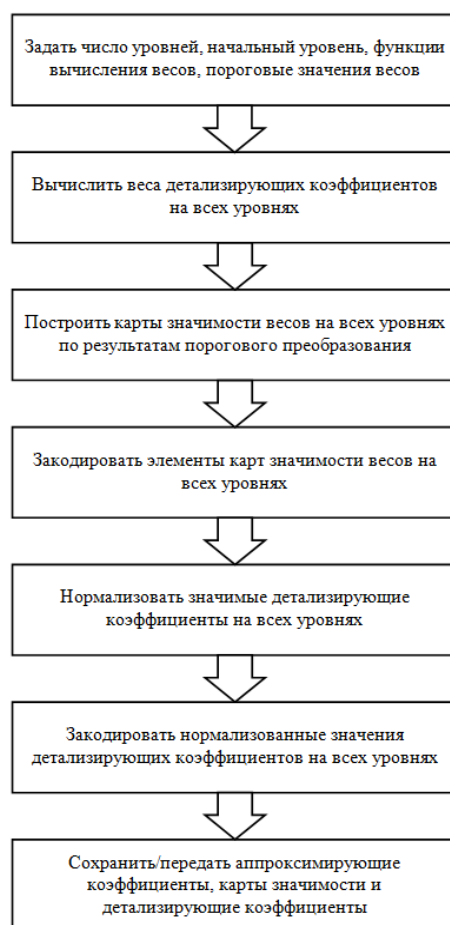


Рисунок 5 – Общая схема сжатия изображений с использованием весовой модели

Максимальное число уровней весовой модели равно максимальному числу уровней вейвлет-преобразования J , которое вычисляется по формуле (1). Начальный уровень j_0 выбирается из отрезка $[0, J-1]$. Выбор j_0 определяется требованиями к качеству восстановленного изображения и качеству сжатия – чем меньше начальный уровень, тем ниже качество восстановленного изображения и тем выше качество сжатия (в данном случае под качеством сжатия понимается отношение между объемами исходного и сжатого изображений). Исходя из рассуждений, приведенных выше, выбор начального уровня задает начальное приближение к исходному изображению. При этом, чем меньше начальный уровень, тем меньше используется аппроксимирующих коэффициентов и тем «грубее» будет начальное приближение к исходному изображению. Кроме того, чем меньше начальный уровень, тем больше детализирующих коэффициентов можно отбросить. За счет этого сокращается объем сжатого изображения, что, однако, приводит к ухудшению качества восстановленного изображения.

Функции вычисления весов могут быть заданы различными способами, исходя из эвристических соображений и требований к удобству реализации. Например, можно применить следующий способ:

$$w_{j_0}(m, n) = \Delta E_{j_0}(m, n), \quad (12)$$

$$w_j(m, n) = w_{j-1}(m/2, n/2)/4 + \Delta E_j(m, n), j = \overline{j_0, J-1}. \quad (13)$$

Пороговые значения должны вычисляться исходя из требований к качеству восстановленного изображения и качеству сжатия. Например, их можно задавать в виде значения определенной порядковой статистики, вычисляемого по гистограмме весов точек изображения соответствующего уровня. Для упрощения построения гистограммы весовые значения можно привести к заданному диапазону, например к отрезку $[0, 255]$.

Выполнение пороговой обработки весов детализирующих коэффициентов на каждом уровне позволяет определить наиболее значимые из них. Тем самым на каждом уровне создается множество бинарных значений, представляющее собой карту значимости. Это множество будет содержать большое количество нулей и некоторое число единиц, что обеспечивает хорошую статистику для энтропийных методов кодирования.

В общем случае значимые детализирующие коэффициенты могут быть разного знака и принадлежать отрезку $[-255, +255]$. Это может затруднить последующее кодирование каким-либо энтропийным методом. Поэтому значения значимых детализирующих коэффициентов целесообразно нормализовать. Нормализация заключается в последовательном выполнении следующих шагов:

- 1) привести значение детализирующего коэффициента к диапазону $[-128, +127]$ с помощью квантования – например, делением пополам;
- 2) сместить квантованное значение для приведения к диапазону $[0, 255]$ с помощью сложения со значением 128.

Нормализация помимо указанной цели обеспечивает дополнительное улучшение статистики для последующего кодирования за счет дополнительного сокращения множества кодируемых элементов.

Для кодирования элементов карт значимости и нормализованных детализирующих коэффициентов целесообразно использовать какой-нибудь эффективный по сжатию и быстродействию метод энтропийного кодирования. Одним из таких методов является адаптивный метод Хаффмена [6].

Для энтропийных методов важным понятием является вероятностная модель. Под ней понимается совокупность частот символов алфавита элементов данных, на основе которых будет осуществляться их кодирование. Алгоритм кодирования в этом случае реализует два почти независимых друг от друга процесса – моделирование и кодирование. Процесс моделирования заключается в построении и поддержки модели данных, а процесс кодирования – в присвоении кодов обрабатываемым символам данных.

При выполнении кодирования Хаффмена предполагается, что строится кодовое дерево, у которого из каждой внутренней вершины (узла) выходят ровно два ребра, помеченные двоичными символами 0 и 1. Листья кодового дерева (терминальные вершины) соответствуют кодируемым символам, а внутренние (нетерминальные) вершины – дополнительным символам, образованным из пар символов в процессе кодирования (на каждом шаге из пары символов с наименьшими частотами образуется новый символ с суммарной частотой).

Адаптивный метод Хаффмена предусматривает, что сначала кодер (программа или устройство кодирования) строит пустое дерево Хаффмена на основе модели, в которой частоты кодируе-

мых символов равны нулю. Первый входной символ кодируется следующим образом. Сначала к нему спереди приписывается специальный служебный символ. Затем его частота увеличивается на единицу (произойдет обновление модели), он помещается на дерево и ему присваивается код Хаффмена. Если он встретится в следующий раз, то будет выдан его текущий код Хаффмена, его частота опять будет увеличена на единицу (опять произойдет обновление модели), а дерево Хаффмена, при необходимости, перестроено. Таким образом, в разные моменты времени одному и тому же символу могут быть присвоены различные коды. Для восстановления закодированных данных декодер (программа или устройство декодирования) должен строить и изменять модель и дерево Хаффмена по тем же правилам, что и кодер.

Достоинством адаптивных методов кодирования вообще и адаптивного метода Хаффмена в частности является «однопроходность» – построение вероятностной модели и кодирование выполняются по мере обработки входных данных за один проход. При этом в адаптивных методах предусматривается нормализация модели – синхронное уменьшение частот всех кодируемых символов. Нормализация нужна в первую очередь для того, чтобы не было переполнения счетчиков частот. Но, кроме того, она позволяет сократить количество одновременно рассматриваемых символов, что обеспечивает минимизацию длины кода и повышение качества сжатия.

Сжатое изображение будет иметь структуру, общий вид которой показан на рисунке 6, где N – размер изображения; j_0 – начальный уровень разложения; LL_{j_0} – множество аппроксимирующих коэффициентов; $w'_{j_0}, \dots, w'_{J-1}$ – карты значимости в закодированном виде на уровнях $j_0, \dots, J-1$; $LH'_{j_0}, HL'_{j_0}, HH'_{j_0}, \dots, LH'_{J-1}, HL'_{J-1}, HH'_{J-1}$ – множества значимых детализирующих коэффициентов в закодированном виде на уровнях $j_0, \dots, J-1$.

N	j_0	LL_{j_0}	w'_{j_0}	LH'_{j_0}	HL'_{j_0}	HH'_{j_0}	...	w'_{J-1}	LH'_{J-1}	HL'_{J-1}	HH'_{J-1}
-----	-------	------------	------------	-------------	-------------	-------------	-----	------------	-------------	-------------	-------------

Рисунок 6 – Структура сжатого файла

На рисунке 7 приведены примеры восстановления тестовых изображений boat, cameraman и house при сохранении различного количества детализирующих коэффициентов. Для анализа качества восстановленного изображения воспользуемся критерием пикового соотношения сигнала к шуму PSNR:

$$PSNR = 20 \lg \left(\frac{I_{\max}}{RMSE} \right), \quad (14)$$

где $I_{\max}$ – максимальное значение яркости в исходном изображении I ; $RMSE$ – среднеквадратическая ошибка между исходным изображением I и восстановленным изображением I' с размерами $M \times N$ пикселей (в нашем случае 512×512):

$$RMSE = \frac{1}{MN} \sqrt{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |I(m,n) - I'(m,n)|^2}. \quad (15)$$



Рисунок 7 – Примеры восстановленных тестовых изображений boat, cameraman и house

Значения PSNR для восстановленных изображений на рисунке 7 равны: boat (слева направо) – 32,8; 33,5 и 34,2; cameraman (слева направо) – 35,4; 36,5 и 37,7; house (слева направо) – 36,1; 37,3 и 38,5. Восстановленные изображения, расположенные по вертикали, были получены из тестовых изображений, сжатых с одинаковыми параметрами. Из рисунка 7 видно, что качество восстановления в значительной мере зависит от особенностей сжимаемых изображений – для cameraman заметны артефакты, для boat артефакты заметны в меньшей степени, а для house артефакты вообще зрительно не обнаруживаются. Кроме того, это показывает возможность регулирования параметров сжатия для обеспечения требуемых показателей качества.

Предложенный метод сжатия и структура сжатого изображения (рис. 6) позволяют обрабатывать данные каждого уровня по отдельности. Это дает возможность организовать прогрессивное сжатие и восстановление – сначала сохранять/передавать или восстанавливать информацию о представлении изображения в виде грубой копии, а затем сохранять/передавать или восстанавливать уточняющие детали об изображении. Как уже было сказано, прогрессивное сжатие обеспечивает возможность прерывания процесса восстановления при достижении приемлемого качества с точки зрения конечного пользователя. Это, в свою очередь, обеспечивает сокращение времени на передачу и анализ изображений.

Кроме того, предложенный метод сжатия допускает параллельную реализацию, которая может значительно сократить время сжатия и восстановления, что опять же позволяет повысить скорость анализа изображений и принятия решений по его результатам. Такая реализация возможна благодаря тому, что при сжатии (после вейвлет-преобразования) и восстановлении (до обратного вейвлет-преобразования) изображения данные различных уровней могут обрабатываться независимо друг от друга.

В системах, использующих технологии компьютерного зрения, осуществляется анализ изображений, по результатам которого принимаются управляющие решения. Например, на основе анализа изображений, полученных на борту беспилотного летательного аппарата и переданных на наземный пункт управления, может быть принято решение относительно предотвращения последствий некоторой критической ситуации (пожар, дорожно-транспортное происшествие, дефекты дорожного покрытия и т.д.). Поэтому сокращение времени на сжатие, передачу и восстановление изображений обеспечивает также и сокращение времени на их анализ и принятие решений.

В таблице 2 показаны результаты для сжатия и восстановления при реализации предложенного метода для стандартных полутоновых изображений размера 512×512 пикселей. При этом использовались следующие параметры:

- формат исходных изображений: BMP;
- вид преобразования: ортогональное кратно-масштабное преобразование Хаара;
- максимальное число уровней преобразования $J = 9$;
- начальный уровень преобразования: $j_0 = 7$;
- уровни преобразования: 7, 8;
- пороговые весовые значения: $\Delta_7 = p_{50}$, $\Delta_8 = p_{80}$,

где p_{50} и p_{80} – 50-й и 80-й процентиля упорядоченных наборов весов соответствующих уровней.

В таблицах 2 и 3 для сравнения приведены характеристики тестовых изображений (рис. 1) в предложенном формате WEIGHTS (рис. 6) и популярных растровых форматах JPEG, PNG, TIFF, которые часто используются на практике. Объем каждого тестового изображения в формате BMP равен 263222 байтов.

Таблица 2 – Характеристики сжатия и восстановления для реализации предложенного метода

Изображения	Отношение объемов исходного и сжатого изображений	Пиковое соотноше- ние сигнала к шуму	Время сжатия, с	Время восста- новления, с
boat	4,025	35,724	0,016	0,011
cameraman	4,461	40,819	0,013	0,008
house	4,968	42,169	0,012	0,009
jetplane	4,136	39,002	0,015	0,009
lake	3,893	34,792	0,016	0,011
livingroom	4,152	34,999	0,015	0,009
mandril	4,028	29,851	0,015	0,009
peppers	3,851	36,578	0,016	0,011
pirate	4,029	36,046	0,014	0,009

Таблица 3 – Сравнение объемов изображений в различных форматах (в байтах)

Изображения	WEIGHTS	JPEG	PNG	TIFF
boat	65392	104143	324516	389120
cameraman	59011	62222	254183	148938
house	52983	45023	202391	111390
jetplane	63639	77034	277300	316366
lake	67615	109389	329132	384722
livingroom	63400	103133	322913	262750
mandril	65347	107724	349977	262750
peppers	68343	100589	210487	309918
pirate	65330	99142	320518	262750

Для проведения экспериментов использовался персональный компьютер на базе четырехъядерного процессора Intel(R) Core(TM) i5-8300H CPU@2.30 GHz, обеспечивающего многопоточную работу (до 8 потоков), с оперативной памятью 8 Гб под управлением операционной системы Microsoft Windows 10. Эксперименты выполнялись с помощью 64-разрядной программной реализации, выполненной на языке C++ в среде программирования Microsoft Visual Studio 2017 с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV 3.4.9.

Заключение. На основе приведенных результатов можно сделать вывод, что предложенный метод позволяет получить для тестовых изображений характеристики сжатия и восстановления, сопоставимые и в большинстве случаев превышающие по качеству соответствующие характеристики популярных форматов представления изображений.

Предложенный метод позволяет также обеспечить прогрессивное сжатие и восстановление изображений. Он также допускает возможность параллельной программно-аппаратной реализации, что имеет большое практическое значение с точки зрения сокращения времени на анализ изображений и принятие управляющих решений в системах, использующих технологии компьютерного зрения.

Таким образом, предложенный подход может быть эффективно применен для сжатия изображений при их передаче и/или сохранении в различных системах обработки информации и управления.

Библиографический список

1. Визильтер Ю. В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: Курс лекций и практических занятий / Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов, А. В. Бондаренко, М. В. Ососков, А. В. Моржин. – Москва : Физматкнига, 2010. – 672 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – Москва : Техносфера, 2012. – 1104 с.
3. Дворкович В. П. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика) / В. П. Дворкович, А. В. Дворкович. – Москва : Техносфера, 2012. – 1008 с.
4. Клетте Р. Компьютерное зрение. Теория и алгоритмы / Р. Клетте. – Москва: ДМК Пресс, 2019. – 506 с.
5. Кухарев Г. А. Методы обработки и распознавания изображений лиц в задачах биометрии / Г. А. Кухарев, Е. И. Каменская, Ю. Н. Матвеев, Н. Л. Щеголева ; под ред. М. В. Хитрова. – Санкт-Петербург : Политехника, 2013. – 388 с.
6. Матрюков Д. Алгоритмы сжатия информации. Часть 1. Сжатие по Хаффмену / Д. Матрюков // Монитор. – 1993. – № 7–8. – С. 14–20.
7. Матрюков Д. Алгоритмы сжатия информации. Часть 7. Сжатие графической информации / Д. Матрюков // Монитор. – 1994. – № 6. – С. 12–17.
8. Обработка изображений в авиационных системах технического зрения / под ред. Л. Н. Костяшкина, М. Б. Никифорова. – Москва : Физматлит, 2016. – 238 с.
9. Потапов А. С. Распознавание образов и машинное восприятие: общий подход на основе принципа минимальной длины описания / А. С. Потапов. – Санкт-Петербург : Политехника, 2007. – 547 с.
10. Умняшкин С. В. Математические методы и алгоритмы цифровой компрессии изображений с использованием ортогональных преобразований : дис. ... д-ра физ.-мат. наук / С. В. Умняшкин. – Москва, 2001. – 383 с.
11. Чобану М. Многомерные многоскоростные системы обработки сигналов / М. Чобану. – Москва : Техносфера, 2009. – 480 с.
12. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р. А. Шовенгердт. – Москва : Техносфера, 2013. – 592 с.
13. Hosseini M. A survey of data compression algorithms and their applications / M. Hosseini // Conference: Applications of Advanced Algorithms. – 2012. – P. 1–14.
14. Kostyukhina G. V. Edge detector based on wavelet transform energy attributes / G. V. Kostyukhina, S. A. Lyasheva, M. P. Shleymovich // Proc. SPIE. – 2019. – Vol. 11146, 111460L.
15. Lyasheva S. A. Contours detection in the images using energy characteristics of wavelet transform / S. A. Lyasheva, M. V. Medvedev, M. P. Shleymovich // Proc. SPIE. – 2018. – Vol. 10774, 1077417.
16. Ma J. The Curvelet Transform / J. Ma, G. Plonka // IEEE Signal Processing Magazine. – 2010. – Vol. 27, № 2. – P. 118–133.

17. Mallat S. A Wavelet Tour of Signal Processing / S. Mallat. – Academic Press, 2009. – 832 p.
18. Marcellin M. W. An Overview of JPEG-2000 / M. W. Marcellin, M. J. Gormish, A. Bilgin, M. P. Boliek // Proc. of IEEE Data Compression Conference. – 2000. – P. 523–541.
19. Pearlman W. A. Set Partition Coding: Part I of Set Partition Coding and Image Wavelet Coding Systems / W. A. Pearlman, A. Said // Foundations and Trends in Signal Processing. – 2008. – Vol. 2, № 2. – P. 95–180.
20. Pearlman W. A. Image Wavelet Coding Systems: Part II of Set Partition Coding and Image Wavelet Coding Systems / W. A. Pearlman, A. Said // Foundations and Trends in Signal Processing. – 2008. – № 3. – P. 181–246.
21. Salomon D. Handbook of Data Compression / D. Salomon, G. Motta. – Springer, 2010. – 1384 p.
22. Sayood K. Introduction to Data Compression / K. Sayood. – Morgan Kaufmann Publisher, 2018. – 790 p.
23. Shleymovich M. P. Image analysis in unmanned aerial vehicle on-board system for objects detection and recognition with the help of energy characteristics based on wavelet transform / M. P. Shleymovich, M. V. Medvedev, S. A. Lyasheva // Proc. of SPIE. – 2017. – Vol. 10342–1034210.
24. The USC-SIPI Image Database. – Режим доступа: <http://sipi.usc.edu/database/database.php>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 20.01.2020)
25. Uthayakumar J. A survey on data compression techniques: From the perspective of data quality, coding schemes, data type and applications / J. Uthayakumar, T. Vengattaraman, P. Dhavachelvan // Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences. – 2018. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157818301101>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

References

1. Vizilter Yu. V., Zheltov S. Yu., Bondarenko A. V., Ososkov M. V., Morzhin A. V. *Obrabotka i analiz izobrazheniy v zadachakh mashinnogo zreniya: Kurs lektsiy i prakticheskikh zanyatiy* [Image processing and analysis in machine vision applications: Course of lectures and practical classes]. Moscow, Fizmatkniga Publ., 2010. 672 p.
2. Gonzalez R., Woods R. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* [Digital Image Processing]. Moscow, Technosphaera Publ. 2012. 1104 p.
3. Dvorkovich V. P., Dvorkovich A. V. *Tsifrovye videoinformatsionnye sistemy (teoriya i praktika)* [Digital video information systems (theory and practice)]. Moscow, Technosphaera Publ., 2012. 1008 p.
4. Klette R. *Kompyuternoe zrenie. Teoriya i algoritmy* [Computer vision. Theory and algorithms]. Moscow, DMK Press Publ., 2019. 506 p.
5. Kukharev G. A., Kamenskaya E. I., Matveev Yu. N., Shchegoleva N. L., Khitrov M. V. (ed.) *Metody obrabotki i raspoznavaniya izobrazheniy lits v zadachakh biometrii* [Methods of processing and recognition of facial images in biometrics problems]. Saint Petersburg, Politehnika Publ., 2013. 388 p.
6. Mastrukov D. Algoritmy szhatiya informatsii. Chast 1. Szhatie po Xaffmenu [Data compression algorithms. Part 1. Huffman compression]. *Monitor* [Monitor], 1993, no. 7–8, pp. 14–20.
7. Mastrukov D. Algoritmy szhatiya informatsii. Chast 7. Szhatie graficheskoy informatsii [Data compression algorithms. Part 7. Compression of graphic information]. *Monitor* [Monitor], 1994, no. 6, pp. 12–17.
8. Kostyashkin L. N., Nikiforov M. B. (eds.) *Obrabotka izobrazheniy v aviatsionnykh sistemakh tekhnicheskogo zreniya* [Image processing in aviation vision systems]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2016. 238 p.
9. Potapov A. S. *Raspoznavanie obrazov i mashinnoe vospriyatie: obshhiy podkhod na osnove printsipa minimal'noy dliny opisaniya* [Pattern recognition and machine perception: a general approach based on the principle of minimum description length]. Saint Petersburg, Politehnika Publ., 2007. 547 p.
10. Umnyashkin S. V. *Matematicheskie metody i algoritmy tsifrovoy kompressii izobrazheniy s ispolzovaniem ortogonalnykh preobrazovaniy* [Mathematical methods and algorithms for digital image compression using orthogonal transformations]. Moscow, 2001. 383 p.
11. Tchobanou M. *Mnogomernye mnogokorostnye sistemy obrabotki signalov* [Multidimensional multirate systems for signal processing]. Moscow, Technosphaera Publ., 2009. 480 p.
12. Schowengerdt R. A. *Distsionnoe zondirovanie. Modeli i metody obrabotki izobrazheniy* [Remote Sensing. Models and Methods for Image Processing]. Moscow, Technosphaera Publ., 2013. 592 p.
13. Hosseini M. A survey of data compression algorithms and their applications. *Conference: Applications of Advanced Algorithms*, 2012, pp. 1–14.
14. Kostyukhina G. V., Lyasheva S. A., Shleymovich M. P. Edge detector based on wavelet transform energy attributes. *Proc. SPIE*, 2019, vol. 11146, 111460L.
15. Lyasheva S. A., Medvedev M. V., Shleymovich M. P. Contours detection in the images using energy characteristics of wavelet transform. *Proc. SPIE*, 2018, vol. 10774, 1077417.
16. Ma J., Plonka G. The Curvelet Transform. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2010, vol. 27 (2), pp. 118–133.
17. Mallat S. *A Wavelet Tour of Signal Processing*. Academic Press, 2009. 832 p.
18. Marcellin M. W., Gormish M. J., Bilgin A., Boliek M. P. An Overview of JPEG-2000. *Proc. of IEEE Data Compression Conference*, 2000, pp. 523–541.
19. Pearlman W. A., Said A. Set Partition Coding: Part I of Set Partition Coding and Image Wavelet Coding Systems. *Foundations and Trends in Signal Processing*, 2008, vol. 2, no. 2, pp. 95–180.
20. Pearlman W. A., Said A. Image Wavelet Coding Systems: Part II of Set Partition Coding and Image Wavelet Coding Systems. *Foundations and Trends in Signal Processing*, 2008, vol. 2, no. 3, pp. 181–246.
21. Salomon D., Motta G. *Handbook of Data Compression*. Springer, 2010. 1384 p.
22. Sayood K. *Introduction to Data Compression*. Morgan Kaufmann Publisher, 2018. 790 p.

23. Shleymovich M. P., Medvedev M. V., Lyasheva S. A. Image analysis in unmanned aerial vehicle on-board system for objects detection and recognition with the help of energy characteristics based on wavelet transform. *Proc. of SPIE*, 2017, vol. 10342, 1034210.

24. *The USC-SIPI Image Database*. Available at: <http://sipi.usc.edu/database/database.php> (accessed 20.01.2020).

25. Uthayakumar J., Vengattaraman T., Dhavachelvan P. A survey on data compression techniques: From the perspective of data quality, coding schemes, data type and applications. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 2018. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157818301101>.

УДК 004.021

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОРГАНИЗАЦИИ ИТОГОВОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АТТЕСТАЦИИ В ВУЗЕ

Статья поступила в редакцию 20.03.2020, в окончательном варианте – 23.05.2020.

Бестаева Наталия Викторовна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, магистрант, e-mail: nat.bestava@yandex.ru

Окладникова Светлана Владимировна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, кандидат технических наук, доцент, e-mail: chelle@mail.ru

В статье рассматриваются информационные модели процесса организации государственной итоговой аттестации в вузе для построения информационной системы на примере организации данного процесса в Астраханском государственном университете. На основе анализа процесса подготовки к государственной итоговой аттестации были выделены четыре основных этапа, составляющих этот процесс. Также было сформулировано общее описание этапов и представлены диаграммы для каждого из них. Обосновано, что для автоматизации процессов подготовки к государственной итоговой аттестации целесообразно использовать модель этого процесса и информационную систему для поддержки выполнения необходимых операций. С использованием нотации UML были построены диаграммы, которые отображают взаимодействие модулей информационной системы друг с другом; входные и выходные данные и исполнителей для каждого из процессов. Кроме того, в статье представлена диаграмма потоков данных – она отображает все важные направления передачи входных и выходных данных в рассматриваемой системе. Современные требования к управлению процессом подготовки к государственной итоговой аттестации в рамках учебного подразделения приводят к определённым затруднениям при использовании традиционных подходов. Причины: большие потоки данных, множество участников процесса и, соответственно, большое количество разнообразной документации. Поэтому представленная модель процесса подготовки к государственной итоговой аттестации и информационная система имеют практическое значение. С одной стороны, они делают данный процесс проще, а с другой – являются одним из этапов создания (реализации) типовой модели бизнес-процессов университета.

Ключевые слова: университет, образование, цифровизация образования, государственная итоговая аттестация, информационная модель, UML-диаграмма

INFORMATION MODEL OF THE PROCESS OF ORGANIZATION OF THE FINAL STATE CERTIFICATION IN THE UNIVERSITY

Bestava Natalia V., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

master student, e-mail: nat.bestava@yandex.ru

Okladnikova Svetlana V., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: chelle@mail.ru

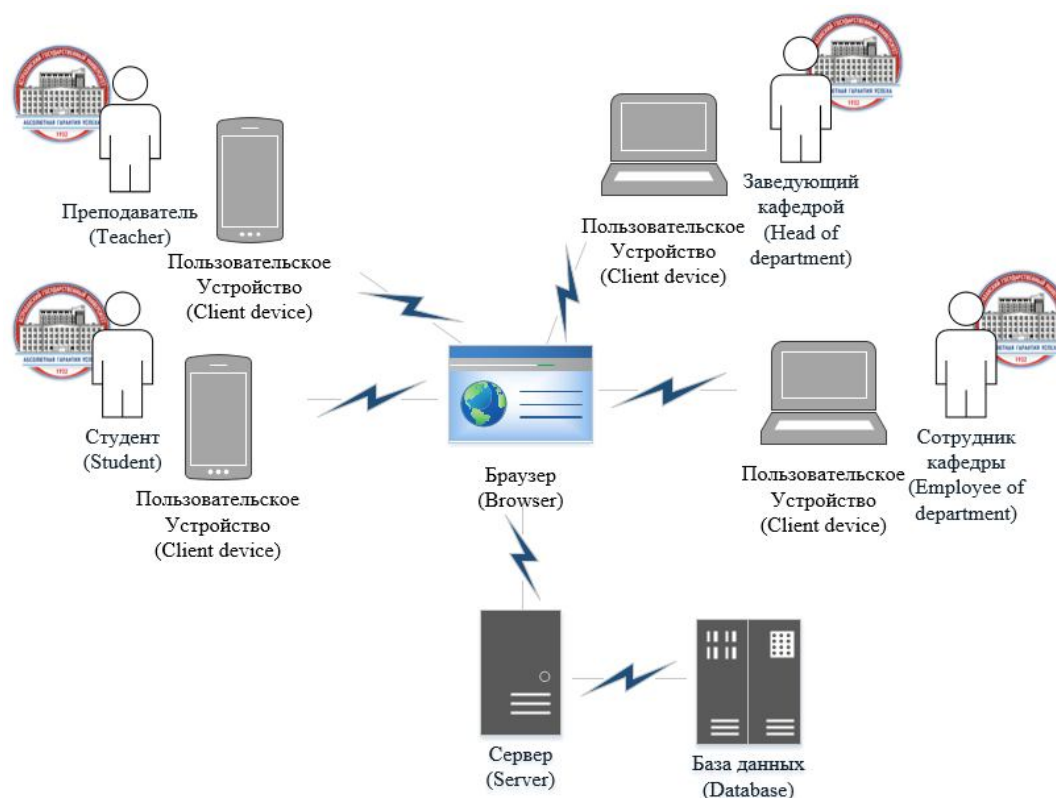
The article was received by the editorial board on 20.03.2020, in the final version – 23.05.2020.

The article considers information models of the process of organization of the final state certification in the university for the construction of the information system on the example of this process at the Astrakhan State University. On the basis of an analysis of the preparatory process for the final appraisal, four main stages of the process were identified. A general description of the steps and diagrams for each were also provided. Using UML notation, diagrams were constructed that display the interaction of information system modules with each other, input and output, and performers for each of the processes. In addition, the article presents a diagram of data flows – it shows all

important directions of transmission of input and output data in the model under consideration. Modern requirements to control the process of preparation for final certification within the training department lead to certain difficulties in using traditional approaches due to the large flow of data, many participants of the process and, accordingly, a large amount of documentation. Therefore, the presented model of the process of preparation for certification is of practical importance. On the one hand, it makes this process easier, and on the other, it is one of the stages of creating a model of business processes of the university.

Keywords: university, education, digitalisation of education, State Final Examination, information model, UML diagram

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. В настоящее время многими вузами в России разрабатываются автоматизированные системы управления (АСУ) различными учебными процессами. При этом решаются задачи по созданию корпоративных хранилищ данных и средств унифицированного доступа к ним. Однако отсутствие стандартов, постоянное развитие предметной области и разная степень развития ИТ-технологий в вузах не позволяет разработать унифицированные концептуальные модели этих процессов и программные решения для их реализации.

Поэтому вопросы автоматизации как учебного процесса в целом, так и его отдельных частей являются актуальными для всех российских вузов. Одна из важнейших частей учебного процесса – государственная итоговая аттестация (ГИА). Она является завершающим этапом подготовки по профессиональным образовательным программам в вузе. Поэтому качество реализации этого этапа играет особую роль.

Однако в существующих работах по автоматизации деятельности вузов вопросы, связанные с ГИА, рассмотрены недостаточно полно. Поэтому целью данной статьи является анализ возможности автоматизации ГИА на основе использования информационных моделей для построения информационной системы управления процессом организации ГИА.

Общая характеристика процессов, связанных с управлением процесса организации ГИА. Общий порядок проведения ГИА определяется нормативным документом [7]. Конкретная форма ГИА, ее объем, структура и содержание, сроки проведения устанавливаются разработанной в вузе профессиональной образовательной программой в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС) высшего образования (ВО).

Процесс организации и проведения ГИА регламентируется нормативными документами вуза. Все этапы по подготовке к ГИА сопровождаются созданием комплекта разнообразных докумен-

тов: тематика выпускных квалификационных работ (ВКР), приказы о зачислении, календарный график проведения ГИА и т.п. Эти документы содержат большие объемы разнородных данных, что затрудняет автоматизацию работы с ними. В типичных случаях при работе с такими документами традиционно используются средства MS Office (Word, Excel и т.п.). Однако у них ограничен набор инструментов по автоматизации выполнения отдельных задач (шаблоны, макросы и т.п.).

Чем вызваны такие негативные последствия обработки документов, как:

- обработка становится трудоемким процессом, требующим значительных временных затрат от сотрудников, выполняющих соответствующие операции;
- появляются ошибки, возникающие вследствие «человеческого фактора».

Отсюда следует целесообразность автоматизации указанных процессов.

На российском рынке программного обеспечения можно найти продукты различного класса: от узкопрофильных приложений до систем класса предприятия с возможностями поддержки принятия решений и аналитическими инструментами [1, 5, 4, 10].

Однако среди программных средств, предназначенных для автоматизации деятельности вузов, нет унифицированной системы управления процессом организации ГИА. На практике в каждом учебном заведении разрабатывается своя собственная система с учетом используемых программных комплексов типа «АСУ вуз». В свою очередь это приводит к дублированию работ по созданию программного обеспечения на различных платформах в разных вузах.

В настоящее время можно выделить четыре подхода к автоматизации документооборота в вузах:

- использование корпоративной информационной системы;
- приобретение и внедрение «готовой» автономной системы электронного документооборота (СЭД);
- аренда информационных сервисов в интернет на основе аутсорсинга и облачных технологий;
- использование собственной СЭД, оптимизированной под структуру и особенности конкретного вуза.

На данный момент существует ряд подобных программ для управления процессом подготовки документов в различных областях. Среди них есть программы по управлению документооборотом в вузе, деканате и на кафедре, однако нет системы управления процессом организации ГИА.

В связи с увеличением потока документации при выполнении различных задач в вузах усиливается потребность в информационной системе, обеспечивающей контроль за процессами подготовки документов. Кроме того, в условиях усложнения таких процессов в современных вузах для повышения конкурентоспособности требуется оптимизировать деятельность структурных подразделений и, при необходимости, организационных структур. Кроме того, необходимо усилить их взаимодействие с целью оптимизации времени принятия и практической реализации управленческих решений.

В настоящее время организация документооборота в процессе подготовки к ГИА подразумевает создание «электронных документов» вручную или загрузку их шаблонов из нормативной базы; хранение документов в бумажном виде в организации или в архиве. Это, в свою очередь, влечет за собой возможность появления следующих проблем:

1. Сложности с поисками необходимых документов.
2. Дублирование информации в разных документах.
3. Неопределенность организационных процессов.

Эффективным подходом к успешному решению вышеперечисленных проблем с учетом специфических особенностей российских вузов может стать использование наиболее перспективной на современном этапе технологии цифровизации документооборота.

В результате проведенного анализа предметной области были выделены наиболее значимые функциональные возможности для программных средств автоматизации применительно к рассматриваемой предметной области:

1. Загрузка списка пользователей.
2. Формирование приказов из обработанных данных.
3. Отслеживание прогресса подготовки студентов к ГИА.
4. Двухфакторное согласование основных этапов в системе.

Информационная система, разрабатываемая для подготовки документации к ГИА, в первую очередь должна быть многопользовательской, поддерживать удаленную работу и иметь простой интерфейс.

Большинство существующих программ по управлению документооборотом (например, Dircetum [11], A-Delo, Ефрат, E-Decanat [5] и др.) не могут обеспечить необходимый функционал. Зару-

бежные производители программного обеспечения предлагают вполне функциональные комплексные решения для отрасли образования, однако они не приспособлены под российскую систему образования.

Поэтому на практике российские вузы отдают предпочтение отечественным программным продуктам ввиду их большей адаптивности к особенностям российской системы образования [1, 2, 3, 4, 5].

К сожалению, среди этих разработок нет программы по управлению процессом организации ГИА в вузах.

Таким образом, разработка единой (унифицированной) системы по управлению документооборотом в вузе при организации ГИА является наиболее эффективным решением. Выполнение такой разработки должно опираться на использование информационных моделей, в том числе в рамках отдельных кафедр. Далее эти вопросы рассматриваются более подробно.

Характеристика процесса организации ГИА с точки зрения отдельных кафедр вузов. Процедура проведения ГИА на кафедрах вуза включает в себя следующее:

- контроль за качеством подготавливаемых документов и этапами их подготовки;
- контроль за соблюдением сроков дисциплины;
- оповещение студентов и преподавателей о контрольных сроках выполнения необходимых работ;
- сбор документов и статистики по выполнению заданий [5, 6, 8, 9].

Организация подготовки и проведения ГИА на кафедрах включает следующие типовые этапы [10, 12]:

- выпускающая кафедра ежегодно разрабатывает перечень тем выпускных квалификационных работ (ВКР) и предоставляет его на рассмотрение и утверждение ученого совета факультета, реализующего соответствующую образовательную программу;
- после утверждения перечня тем ВКР студенты выбирают тему ВКР из числа предложенных и оформляют письменное заявление. Студент может предложить и свою тему, не входящую в предложенный список. Однако она должна соответствовать профилю выпускающей кафедры и образовательной программе, которую осваивает обучающийся;
- по представлению кафедр заявления студентов об утверждении тем ВКР рассматриваются на заседании ученого совета и могут быть отклонены или переформулированы. Решение ученого совета факультета оформляется протоколом. В нем указываются: тема ВКР, назначение руководителя ВКР и при необходимости назначение консультанта;
- допуск студента к ГИА осуществляется на основании соответствующего приказа, представленного выпускающей кафедрой в учебно-методический отдел вуза;
- до защиты выпускающая кафедра проводит предварительную защиту ВКР, проверку освоения студентом образовательной программы и выполнения учебного плана в части подготовки к процедуре защиты ВКР;
- выпускные работы по программам магистратуры и специалитета подлежат рецензированию в установленные кафедрой сроки;
- выпускающая кафедра обеспечивает ознакомление обучающегося с отзывом руководителя и рецензией на ВКР;
- секретарь государственной экзаменационной комиссии (ГЭК) проверяет наличие по каждому студенту его ВКР, отзыва, рецензии, приказа об утверждении темы и руководителя ВКР, протокола проверки степени оригинальности текста ВКР.

Для каждого из перечисленных видов работ устанавливаются свои нормы времени (контрольные сроки). Схематически последовательность этих этапов показана на рисунке 1.

Из представленной схемы видно, что данная система организации ГИА подразумевает постоянное взаимодействие ее участников на протяжении всего выпускного учебного года.

Повторим, что одним из важных этапов работы выпускающей кафедры является подготовка документов к ГИА. На основании приказа о порядке проведения ГИА в вузах в системе по управлению процессом ее организации в вузе можно выделить четыре основных этапа (табл.) [7]. Эти этапы описывают необходимый функционал разрабатываемой системы.

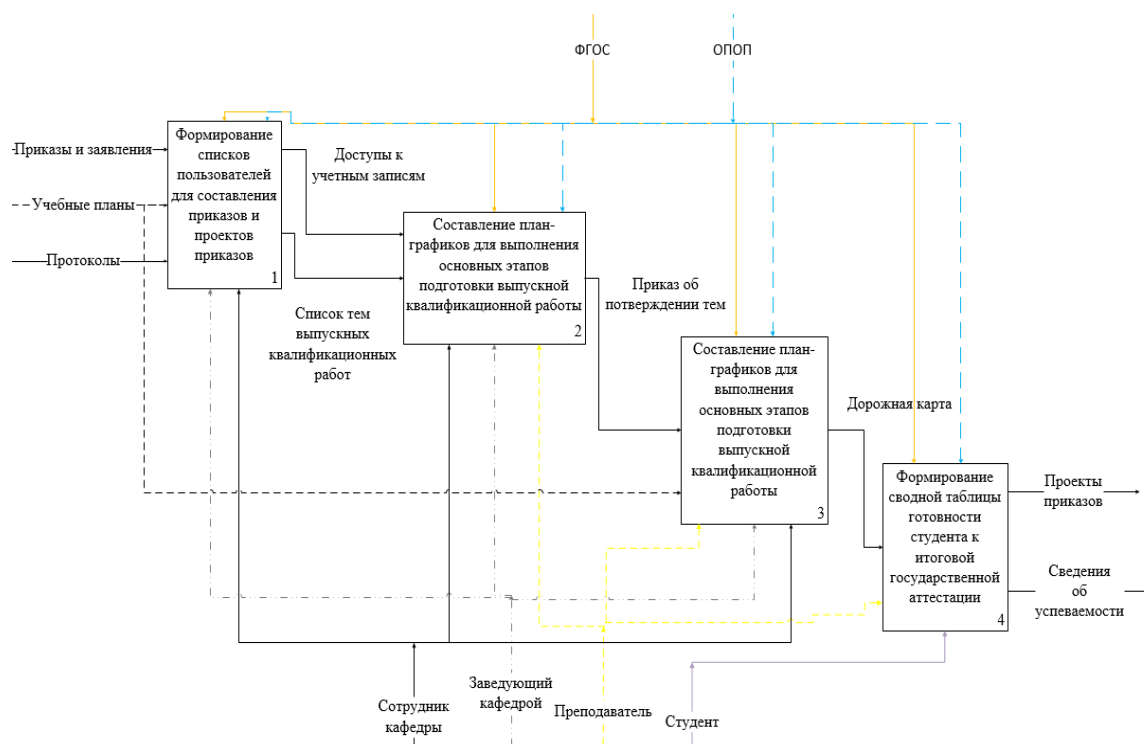


Рисунок 1 – Этапы подготовки к ГИА в информационной системе

Таблица – Основные этапы подготовки к ГИА, используемые в информационных моделях

Наименование этапа	Ресурсы	Исполнитель	Результат
Формирование списков пользователей для составления приказов и проектов приказов	Приказ о зачислении	Сотрудник кафедры	Приказ об утверждении тем выпускных квалификационных работ, приказ о допуске к итоговой аттестации
Согласование руководителей выпускных квалификационных работ	Темы выпускных квалификационных работ	Студент, преподаватель, зав. кафедрой	Приказ о закреплении руководителей и тем выпускных квалификационных работ
Составление план-графиков для выполнения основных этапов подготовки выпускной квалификационной работы	ФГОС, ОПОП	Сотрудник кафедры	План-график
Формирование сводной таблицы готовности студента к итоговой государственной аттестации	Сводные данные о прохождении этапов дорожной карты, дорожная карта	Студент	Сводная таблица готовности студента к итоговой государственной аттестации

Проектирование информационных моделей для системы управления процессом подготовки к ГИА.

Этап «Формирование списков пользователей для составления приказов и проектов приказов». Сотрудник кафедры вуза загружает в информационную систему список поступивших на кафедру студентов, которым необходимо пройти процедуру ГИА. На основании этого списка формируются учетные записи для пользователей. После того как студенты получают свои данные для входа в систему управления процессом организации ГИА в вузе, они заходят в свои личные кабинеты, где могут увидеть следующее:

- список преподавателей, которые могут быть дипломными руководителями;
- список тем ВКР, утвержденных и прошедших проверку у заведующего кафедрой;
- дорожную карту образовательной программы, по которой студент проходит обучение;
- сообщения от кафедры, к которой относится студент.

Также студент имеет возможность сделать следующее:

- отправить преподавателю заявку на дипломное руководство;
- отправить заявку заведующему кафедрой на утверждение темы ВКР;
- загрузить файлы на каждый этап контроля дорожной карты, который подразумевает сдачу отчета, для проверки его преподавателем;
- увидеть статистику выполнения пунктов дорожной карты процесса подготовки к ГИА.

Схематически действия, связанные с подготовкой к ГИА, отражены на рисунке 2.

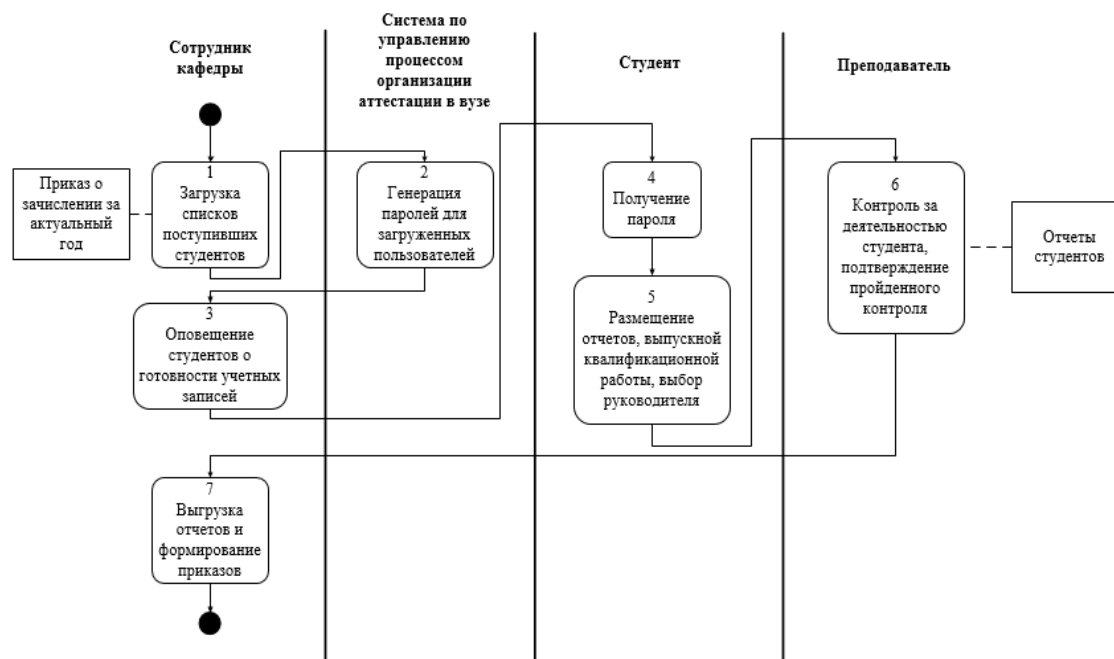


Рисунок 2 – Диаграмма действий для этапа «Формирование списков пользователей для составления приказов и проектов приказов»

На основании данных в системе сотрудник кафедры сможет выгрузить списки студентов и преподавателей для формирования приказов (рис. 2):

- приказ об утверждении тем выпускных квалификационных работ;
- приказ о допуске к итоговой аттестации.

Этап «Согласование руководителей выпускных квалификационных работ». Преподаватели в начале учебного года формируют темы для выпускных квалификационных работ в соответствии с их областями исследований и загружают эти темы в систему по подготовке к ГИА.

Студент в личном кабинете может выбрать тему ВКР и руководителя.

После этого заведующий выпускающей кафедрой в своем личном кабинете может утвердить или не утвердить ту или иную тему, студента и руководителя.

Таким образом, утверждение темы проходит следующие этапы согласования:

- выбор темы студентом;
 - согласование выбора студента преподавателем;
 - утверждение темы, студента и руководителя заведующим кафедрой.
- Схематически эти процессы отражены на рисунке 3.

По завершении всех этапов согласования сотрудник выпускающей кафедры может выгрузить список тем и руководителей для формирования приказа об утверждении тем ВКР (рис. 3).

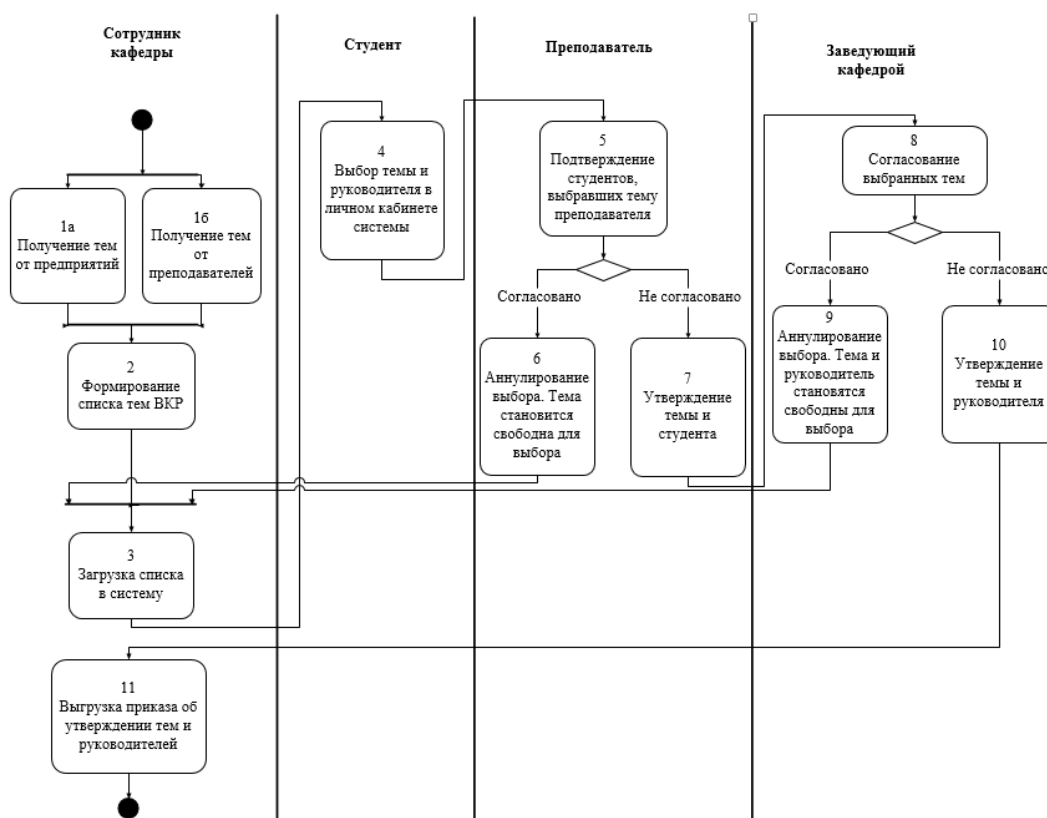


Рисунок 3 – Диаграмма действий для этапа «Согласование руководителей выпускных квалификационных работ»

Этап «Составление план-графиков для выполнения основных этапов подготовки выпускной квалификационной работы». Сотрудник выпускающей кафедры загружает в систему по подготовке к ГИА таблицу, в которой указаны виды контроля процесса подготовки к ГИА с их сроками проведения. На основании этой таблицы формируются дорожные карты. Каждая из них относится к своему направлению подготовки и году набора студентов.

Студенты и преподаватели могут увидеть график подготовки в форме таблицы и степень выполнения пунктов контроля. С помощью них можно оценить готовность студента к ГИА (рис. 4).

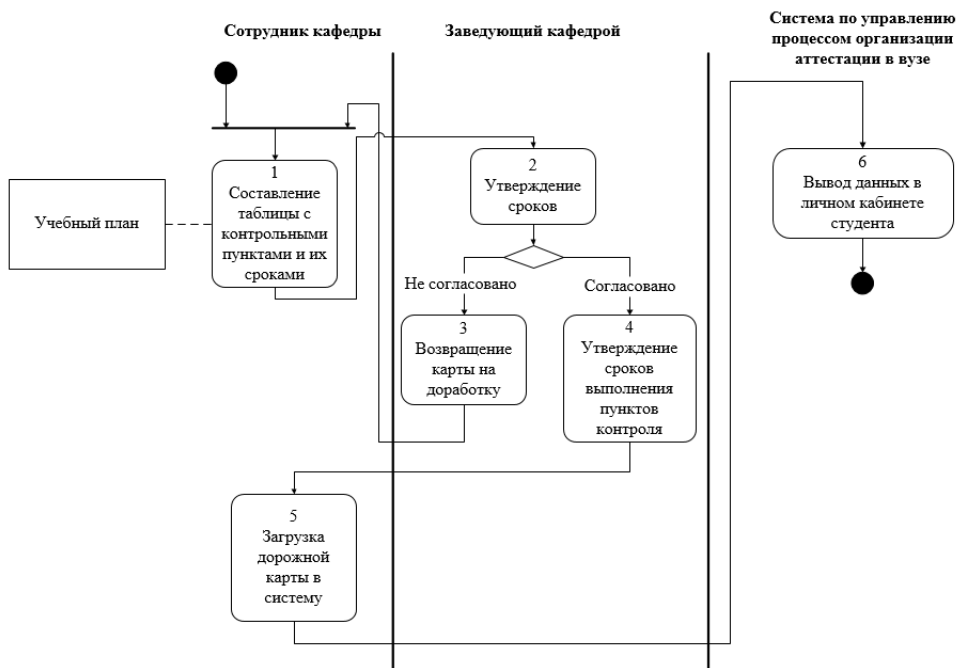


Рисунок 4 – Диаграмма действий для этапа «Составление план-графиков для выполнения основных этапов подготовки выпускной квалификационной работы»

Этап «Формирование сводной таблицы готовности студента к итоговой государственной аттестации». Прогресс учитывает выполненные задачи по подготовке к ГИА [4, 8, 10] (рис. 5):

- утверждение темы ВКР;
- подготовка отчетов по практикам;
- прохождение предзащиты ВКР;
- загрузка необходимых документов и т.д.

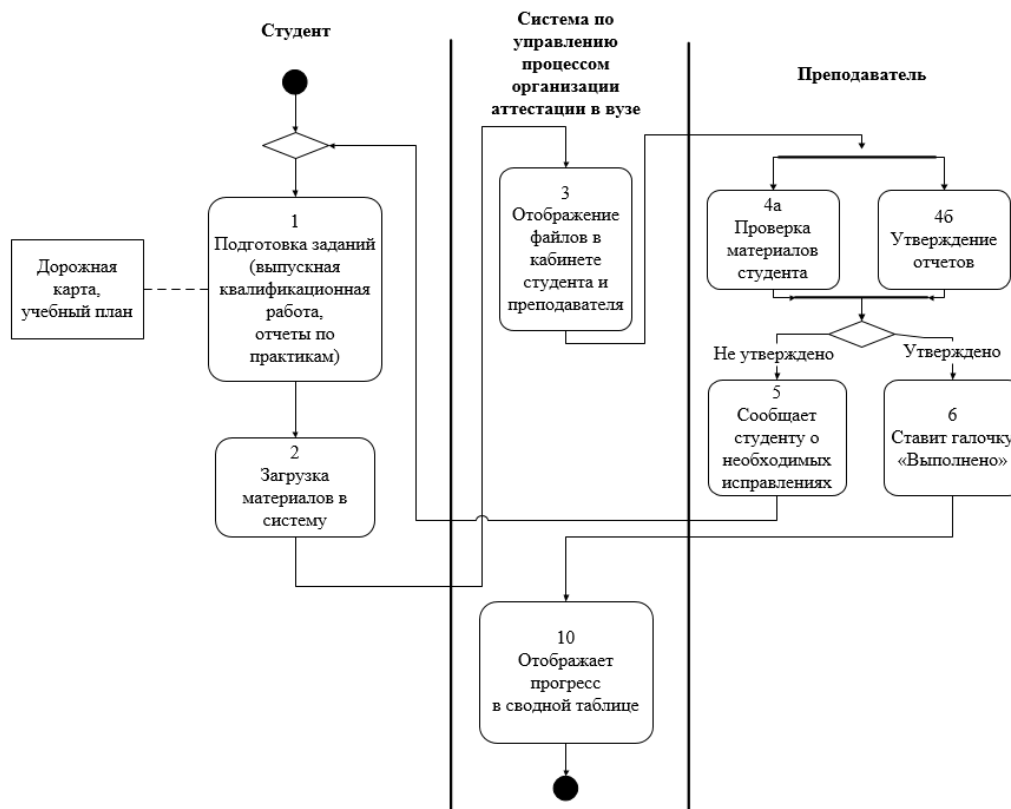


Рисунок 5 – Диаграмма действий для этапа «Формирование сводной таблицы готовности студента к государственной итоговой аттестации»

Преподаватели могут увидеть дорожные карты студентов, у которых они являются научными руководителями ВКР. По мере выполнения студентом пунктов дорожной карты каждый преподаватель сможет оценить степень его подготовленности к ГИА.

Диаграмма потоков данных информационной системы управления процессом организации ГИА в вузе. На основании общего описания для каждого этапа и их «диаграмм действий» была построена диаграмма потоков данных в нотации Гейна – Сарсона. Она представлена на рисунке 6.

Приведем описание составляющих компонентов диаграммы потоков данных по рисунку 6:

- *внешняя сущность «Зачисление студентов»:* по окончании приемной кампании вуз издает приказ о зачислении студентов на первый курс. Затем этот приказ поступает в деканат кафедры, где на основании него составляются списки студентов первого курса. Затем эти списки распределяются по кафедрам, где ответственный сотрудник загружает в систему новых пользователей;
- *накопители данных:* осуществляют роль хранилищ данных, таких как списки пользователей, ролей, тем ВКР, научных руководителей и т.д. Также можно выделить файловое хранилище, которое содержит файлы студентов (отчеты по контрольным пунктам дорожной карты) и файлы дорожных карт по каждому из направлений подготовки студентов;
- *основные процессы информационной системы:* система включает в себя четыре основных процесса. На диаграмме по рисунку 6 были представлены потоки данных для реализации каждого из них.

Из этой диаграммы видно, что все процессы тесно взаимосвязаны и должны выполняться поэтапно, не нарушая очередность их следования.

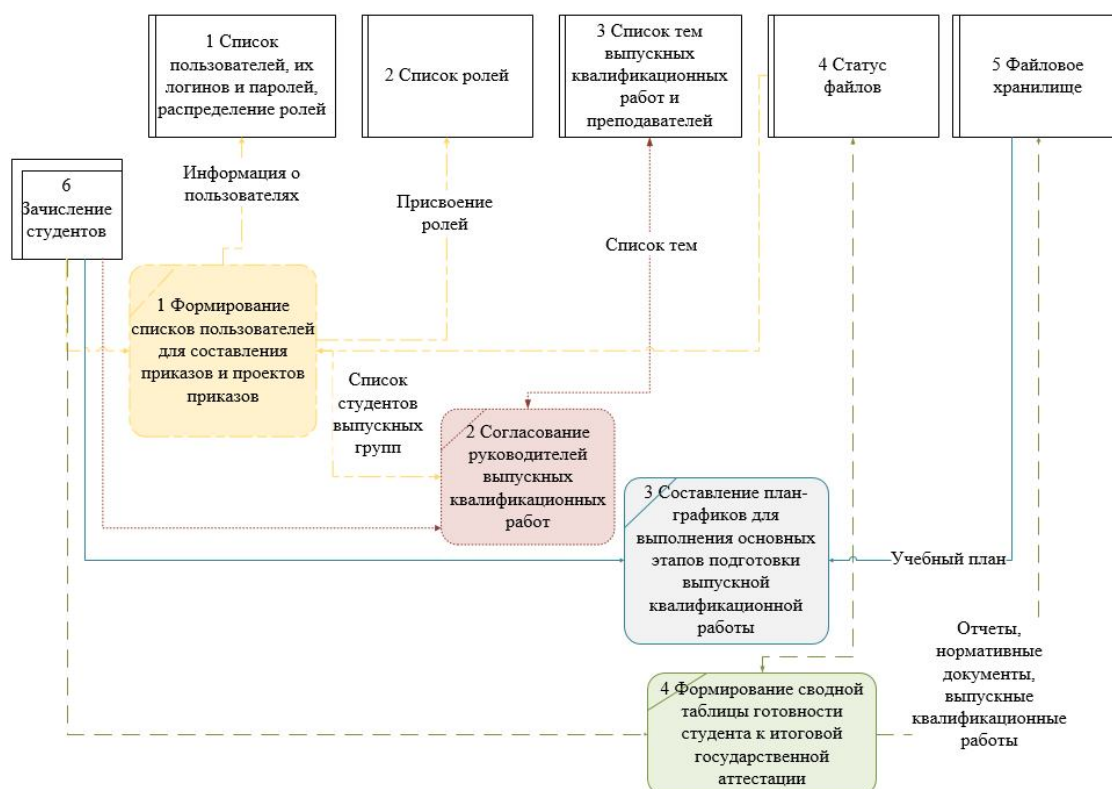


Рисунок 6 – Диаграмма потоков данных

Общая характеристика информационной системы управления процессом организации ГИА в вузе. На основании рассмотренных проблем управления процессом организации ГИА в вузах было выявлено, что информационная система должна обеспечивать такие функциональные возможности:

- разделение доступа к данным и действиям по ролям;
- возможность смены и восстановления пароля;
- загрузку и хранение файлов;
- оповещения пользователей в виде flash-сообщений;
- возможность фильтрации получаемых данных в учетных записях.

Для реализации описанной информационной системы были выбраны следующие программные средства:

- СУБД MySQL;
- веб-сервер Apache-2.4x64;
- PHPMyAdmin – веб-интерфейс для администрирования СУБД MySQL;
- язык написания сценариев PHP-7;
- язык гипертекстовой разметки HTML;
- PHPStorm – интегрированная среда разработки;
- CSS3 – каскадные таблицы стилей третьего поколения;
- JavaScript (jQuery, Ajax);
- Bootstrap 4.4.

Совокупность вышеперечисленных программных средств подходит для разработки веб-ориентированного приложения с указанными выше функциональными возможностями.

Заключение. В данной статье рассматривались возможности управления процессом организации ГИА в вузе на примере его организации на отдельных кафедрах в Астраханском государственном университете. В ходе изучения процесса были выявлены основные недостатки, включая следующие:

- высокая трудоемкость процесса обработки поступающих данных, требующая значительных временных затрат от сотрудников, выполняющих соответствующие операции;
- появление ошибок, возникающих вследствие «человеческого фактора».

Также были выделены этапы организации ГИА при проектировании информационной системы для управления данным процессом:

- формирование списков для составления проектов приказов и приказов;
- согласование руководителей выпускных квалификационных работ;
- составление план-графиков для студентов и преподавателей;
- формирование сводной таблицы готовности студента к государственной итоговой аттестации.

Для каждого из процессов были спроектированы информационные модели в нотации UML. Кроме того, была построена диаграмма потоков данных в нотации Гейна – Сарсона для системы в целом, отображающая входные и выходные данные каждого из этапов.

Также были выбраны средства разработки для проектируемой информационной системы (в статье приведен их перечень). Данные средства в полной мере должны обеспечить возможность реализации приложения в описанном в статье функционалом информационной системы управления процессом организации ГИА в вузе.

Библиографический список

1. Адамский А. В. Информационная модель управления высшим учебным заведением / А. В. Адамский // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2010. – Т. 8, № 3. – С. 55–65.
2. Виландерберг А. А. Диагностика результатов обучения как необходимый этап государственной итоговой аттестации в магистратуре / А. А. Виландерберг, Н. Л. Шубина // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – 2017. – С. 55–61.
3. Елина Е. Г. Итоговая государственная аттестация в условиях реализации Федерального государственного образовательного стандарта / Е. Г. Елина, А. А. Чувакин // Известия Саратовского университета. Серия Философия. Психология. Педагогика. – 2012. – Т. 12, № 1. – С. 108–112.
4. Карпушкина Н. В. Новые подходы к аттестации студентов в условиях модернизации высшего образования / Н. В. Карпушкина, И. А. Конева // Вестник Мининского университета. – 2016. – № 2. – С. 25–35.
5. Мытник А. А. Опыт внедрения информационной системы E-Decanat для автоматизации управления учебным процессом в ТГПУ / А. А. Мытник, А. П. Клишин // Вестник ТГПУ. – 2013. – № 1 (129). – С. 184–187.
6. Окладникова С. В. Проект информационной системы поддержки процесса разработки основных профессиональных образовательных программ в вузе на основе облачных технологий / С. В. Окладникова, О. И. Евдошенко // Вестник ВГУ. – 2017. – Т. 3. – С. 35–41.
7. Порядок проведения государственной итоговой аттестации по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры, утв. приказом Министерства образования и науки РФ от 29 июня 2015 г. № 636, с изм. от 2016 г.
8. Смирнова Ж. В. Итоговая государственная аттестация как способ комплексной оценки компетенций / Ж. В. Смирнова, О. И. Ваганова, А. В. Трутанова // Карельский научный журнал. – 2017. – Т. 6, № 3. – С. 74–77.
9. Тынченко В. В. Автоматизация информационных процессов проведения государственной итоговой аттестации выпускного вуза / В. В. Тынченко, А. Я. Тынченко // Решетневские чтения. – 2016. – С. 169–170.
10. Тягунова Ю. В. Технология проектирования оценочных средств для промежуточной и итоговой аттестации выпускника вуза / Ю. В. Тягунова // Вестник ЮУрГУ. Серия: Образование. Педагогические науки. – 2013. – Т. 5, № 1. – С. 100–104.
11. Электронный документооборот Directum, система электронного документооборота (СЭД) и управления бизнес-процессами. – Режим доступа: <https://www.directum.ru/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 20.04.2020).
12. Sokolov E. A. Information service of the electronic workflow of the university / E. A. Sokolov, S. N. Sereda // Modern problems of science and education. – 2012. – № 5.

References

1. Adamanskiy A. V. Informatsionnaya model upravleniya vysshim uchebnym zavedeniem [Institutional management information model]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Informatsionnye tekhnologii* [Bulletin of Novosibirsk State University. Series: Information Technologies], 2010, vol. 8, no. 3, p. 55–65.
2. Vilanderberg A. A., Shubina N. L. Diagnostika rezultatov obucheniya kak neobkhodimy etap gosudarstvennoy itogovoy attestatsii v magistrature [Diagnostics of results of education as the necessary stage of the state final examination: master's level]. *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni A.I. Gertsena* [Izvestiya Herzen University Journal of Humanities and Sciences], 2017, p. 55–61.
3. Elina E. G., Chuvakin A. A. Itogovaya gosudarstvennaya attestatsiya v usloviyakh realizatsii Federalnogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo standarta [State Final Certification in the Context of Realization of Federal State Educational Standard]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Seriya Filosofiya. Psikhologiya. Pedagogika* [Izvestiya of Saratov University. Series: Philosophy. Psychology. Pedagogy], 2012, vol. 12, no. 1, pp. 108–112.
4. Karpushkina N. V., Koneva I. A. Novye podkhody k attestatsii studentov v usloviyakh modernizatsii vysshego obrazovaniya [New approaches to attestation of students in the modernization of higher education]. *Vestnik Mininskogo universiteta* [Bulletin of Minin University], 2016, no. 2, pp. 25–35.
5. Mytnik A. A., Klishin A. P. Opyt vnedreniya informatsionnoy sistemy E-Decanat dlya avtomatizatsii upravleniya uchebnym protsessom v TGPU [Experience in implementing the E-Decanat information system to automate the

management of the educational process in Tomsk State Pedagogical University]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State Pedagogical University], 2013, vol. 1 (129), pp. 184–187.

6. Okladnikova S. V., Evdoshenko O. I. Proekt informatsionnoy sistemy podderzhki protsessa razrabotki osnovnykh professionalnykh obrazovatelnykh programm v vuze na osnove oblachnykh tekhnologiy [Project of information system supporting the process of development of the main professional educational programs in the university on the basis of cloud technologies]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State University], 2017, vol. 3, pp. 35–41.

7. Poryadok provedeniya gosudarstvennoy itogovoy attestatsii po obrazovatelnykh programmam vysshego obrazovaniya – programmam bakalavriata, programmam specialiteta i programmam magistratury [Procedure for carrying out the state final certification on higher education educational programs – bachelor's programs, specialization programs and master's programs]: Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation from June, 29, 2015, no. 636, with changes from 2016.

8. Smirnova Zh. V., Vaganova O. I., Trutanova A. V. Itogovaya gosudarstvennaya attestatsiya kak sposob kompleksnoy otsenki kompetentsiy [Final state certification as a method of complex assessment of competencies]. *Karelskiy nauchnyy zhurnal* [Karelian Scientific Journal], 2017, vol. 6, no. 3, p. 74–77.

9. Tynchenko V. V., Tynchenko Ya. A. Avtomatizatsiya informatsionnykh protsessov provedeniya gosudarstvennoy itogovoy attestatsii vypusknogo vuza [Information process automation of the university graduate state final certification]. *Reshetnevskie chteniya* [Reshetnev Readings], 2016, pp. 169–170.

10. Tyagunova Yu. V. Tekhnologiya proektirovaniya ocenочnykh sredstv dlya promezhutochnoy i itogovoy attestatsii vypusknika vuza [Technology of design of evaluation facilities for intermediate and final certification of the graduate of the university]. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Obrazovanie. Pedagogicheskie nauki* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Education. Pedagogical Sciences], 2013, vol. 5, no. 1, pp. 100–104.

11. *Elektronnyy dokumentooborot Directum, sistema elektronnoy dokumentooborota (SED) i upravleniya biznes-processami* [Electronic document flow of Directum, electronic document management system (EDMS) and managements business by processes]. Available at: <https://www.directum.ru/> (accessed 20.04.2020).

12. Sokolov E. A., Sereda S. N. Information service of the electronic workflow of the university. *Modern problems of science and education*, 2012, no. 5.

DOI 10.21672/2074-1707.2020.51.1.032-039

УДК 004.6

МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ВЫДАЧЕ ЗАЙМОВ В МИКРОФИНАНСОВЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ И ЕЕ ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Статья поступила в редакцию 31.08.2020, в окончательном варианте – 10.09.2020.

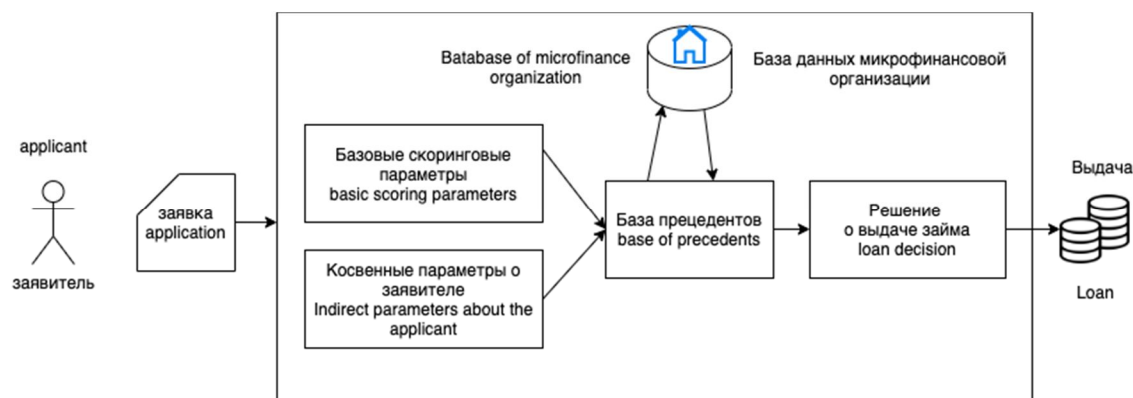
Кузнецова Валентина Юрьевна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, ассистент, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6954-5020>, e-mail: arhelia@bk.ru

Ажмухамедов Искандар Маратович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, доктор технических наук, профессор кафедры информационной безопасности, e-mail: aim_agtu@mail.ru

Повсеместное внедрение и интенсивный рост информационных технологий трансформируют все сферы финансовых услуг, в том числе рынок российского микрофинансирования, который ежегодно показывает устойчивый рост. При этом с ростом количества клиентов, обращающихся за кредитным обслуживанием, в том числе дистанционно, растёт количество просроченных и невозвращенных займов, что говорит о необходимости пересмотра подходов к построению скоринговых систем микрофинансовых организаций, работающих в офлайн- и онлайн-режимах. Предложенная в рамках данной статьи методика принятия решения по выдаче микрозаймов и ее программная реализация основывается на классификации заемщиков по уровню финансовой ответственности и прибыльности их обслуживания с точки зрения рентабельности собственного капитала МФО. Программная реализация, в свою очередь, представляет собой комплекс программных продуктов, каждый из которых решает локальную задачу – построение профиля офлайн-заемщика, построение профиля онлайн-заемщика, определение категории заемщика и принятие решения о микрокредитовании.

Ключевые слова: нечеткая логика, принятие решения, прецедентный подход

Графическая аннотация (Graphical annotation)



LOAN DECISION-MAKING TECHNIQUE IN MICROFINANCE ORGANIZATIONS AND ITS PROGRAM IMPLEMENTATION

Kuznetsova Valentina Yu., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

assistant, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6954-5020>, e-mail: arhelia@bk.ru

Azhmukhamedov Iskandar M., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Information Security, e-mail: aim_agtu@mail.ru

The widespread introduction and intensive growth of information technologies are transforming all areas of financial services, including the Russian microfinance market, which shows steady growth every year. At the same time, with an increase in the number of clients applying for credit services, including remotely, the number of overdue and unpaid loans is growing, which indicates the need to revise the approaches to building scoring systems for microfinance organizations operating in offline and online modes. The methodology for making a decision on the issuance of microloans and its program implementation proposed in this article is based on the classification of borrowers by the level of financial responsibility and the profitability of their service in terms of the return on equity of microfinance organizations. Software implementation, in turn, is a set of software products, each of which solves a local problem – building a profile of an offline borrower, building a profile of an online borrower, defining a borrower's category and making a decision on microcredit.

Keywords: fuzzy logic, decision making, precedent approach

Введение. Повсеместное внедрение и интенсивный рост информационных технологий трансформируют все сферы финансовых услуг, в том числе рынок российского микрофинансирования, который ежегодно показывает устойчивый рост. По данным, опубликованным в «Обзоре ключевых показателей микрофинансовых институтов» Центробанка Российской Федерации, за 2019 год портфель микрозаймов достиг 190 миллиардов рублей.

Активный рост рынка микрофинансирования обусловлен отсутствием у потребителей финансовых услуг доступа к более выгодной альтернативе в виде банковского кредитования. Это объясняется следующими ключевыми причинами:

- 1) низкая финансовая грамотность заемщиков;
- 2) низкий уровень благосостояния значительной части населения страны;
- 3) отсутствие либо ограниченное число представительств банков в населенных пунктах;
- 4) несоответствие заявителей критериям банков (плохая кредитная история, «серая» или «черная» зарплата, отсутствие полноценной финансовой документации по индивидуальному предпринимательству и др.) [1].

Кроме того, популярность услуг микрофинансирования связана с тем, что, в отличие от классической системы банковского кредитования, при принятии решения о выдаче микрозайма осуществляется только первичная проверка подлинности предоставленных документов и среднее время рассмотрение заявки не превышает 30 минут.

Переход к современным технологиям дистанционного обслуживания еще более увеличивает доступность и популярность услуг микрокредитования. Однако это влечет за собой рост количества дефолтных заемщиков, заявки которых используемые в настоящее время скоринговые систе-

мы оценивают недостаточно эффективно ввиду их неадаптированности под реалии цифровой экономики. В результате доля просроченной задолженности по «быстрым» займам только за 2019 год выросла на 7,3 % и достигла 27,3 %.

Кроме того, введение единого стандарта по взысканию просроченной задолженности, а также ужесточение нормативно-правовой базы деятельности по возврату проблемных долгов коллекторскими агентствами, резко ограничило возможности этих организаций в сфере взыскания долгов [2].

В связи с этим микрофинансовые организации (МФО) заинтересованы в создании таких систем управления процессом принятия решений о выдаче займов, которые бы повысили эффективность идентификации потенциально дефолтных заемщиков еще на этапе рассмотрения заявки на кредитование как для оффлайн-заявителей, т.е. лично обратившихся за займом в офис МФО, так и для онлайн-заявителей, которые оставили заявку через веб-сайт.

При этом эффективными будут считаться те решения по микрокредитованию, которые приводят к повышению рентабельности собственного капитала (ROE) микрофинансовой организации.

Постановка задачи. Таким образом, формальная постановка задачи выглядит следующим образом:

$$ROE = \frac{\sum_{i=1}^N P_i}{V} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где $P_i = W_i - R_i$; P_i – прибыль, полученная от i -го клиента; W_i – доход от i -го клиента (за вычетом заемных средств); R_i – расходы, связанные с возвратом займа через суд в случае возникновения такой необходимости (услуг юристов по оформлению судебных документов); N – количество заемщиков; V – сумма собственного капитала МФО при ограничениях $\sum_{i=1}^N V_i \leq V$, $V_i \leq 0,25 V$ для $\forall i=1, N$ (требование регулятора – ЦБ), $1000 \leq S_i \leq 30000$ (величина суммы займа), $0 \leq D_i^{\text{use}} \leq 30$ (срок, на который можно получить микрофинансирование).

Методика классификации заемщиков микрофинансовых организаций. Действующие модели скоринга базируются на классической классификации заявителей – «хороший» (тот, который потенциально вернёт займ) и «плохой» (тот, который, скорее всего, не вернёт займ: срок просрочки превышает 30 дней) [3]. Однако среди «хороших» есть разные типы заемщиков: те, которые возвращают займ точно в срок, и те, кто возвращает после напоминаний или уже в результате судебного приказа. Имеющаяся классификация не отражает данную специфику возвратов, а также не учитывает степень принадлежности заемщиков к той или иной группе.

Совокупность данных о прибыльности кредитного обслуживания того или иного заемщика, а также информация о том, когда происходит смена «статуса» заемщика (передача дела о долге в суд или продажа права требования коллекторам с 80% дисконтом), позволила определить 4 категории заемщиков.

Формально каждая из категорий может быть описана кортежем:

$$Fd_i(B; R_i; D^{del}), \quad (2)$$

где $B \in \{0; 1\}$ – булева переменная «факт возврата или невозврата займа»; D_i^{del} – количество дней просрочки; $R_i \geq 0$ – расходы по кредитному обслуживанию i -го клиента, S – сумма займа. Значения параметров для каждой категории приведены в таблице.

Таблица – Значение параметров для каждой из категории заемщиков

Категория	Значение B	Значение D^{del}	Значение R_i
K1	1	0	0
K2	1	от 1 до 89	0
K3	1	от 60 до 150	< 0,8S
K4	0	от 130 и более	0,8S

Данная классификация является нечеткой ввиду того, что на некоторых сроках длительности кредитного обслуживания заемщик принадлежит к нескольким категориям [4]. Графически это показано на рисунке ниже, где, например, при просрочке в 75 дней заемщик принадлежит к категории K2 и K3 поровну (рис. 1).

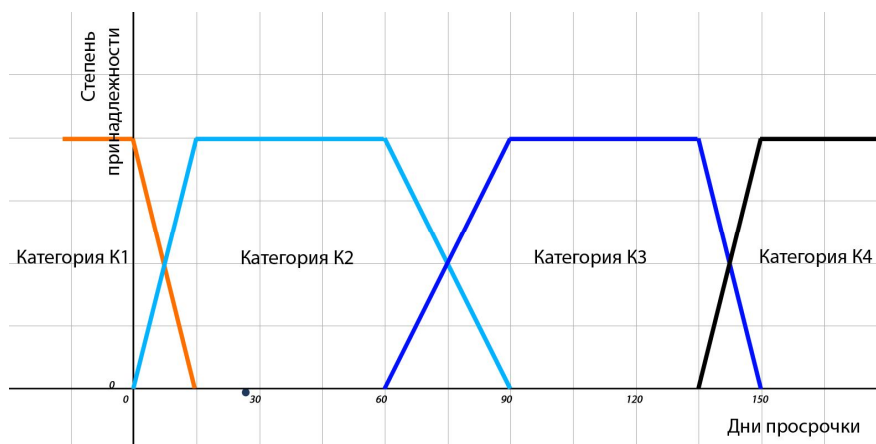


Рисунок 1 – Графическое отображение предложенного нечеткого классификатора

Таким образом, классификация ранее получавших заём клиентов сводится к анализу сроков предыдущей просрочки, на основании которого заемщику присваивается определенная категория [5]. Однако для первичных заемщиков такой подход неприемлем, поскольку у них отсутствует кредитная история. Результаты анализа набора имеющихся параметров в базовой скоринговой модели показали, что однозначно характеризовать представителей каждой категории заемщиков не представляется возможным – многофакторный статанализ показал, что все заемщики равномерно распределены по выделенным категориям. Это привело к необходимости разработать собственный критерий, отражающий уровень финансовой ответственности заявителя. Однако для его применения необходимо получение дополнительных персонифицированных сведений о заявителе, которые отсутствуют во множестве параметров базовой скоринговой модели.

Для решения данной задачи была разработана методика построения расширенного цифрового профиля заемщика (РЦПЗ) [6]. Она предполагает для оффлайн заемщика (обращающихся за займом лично через офис МФО) для построения РЦПЗ анализировать его физиологические особенности, внешний вид, вербальные и невербальные признаки (i -го заемщика) и выявлять в его характере так называемые «радикалы» по методике «7 радикалов» В.В. Пономаренко [7]. Для построения РЦПЗ онлайн-заемщика (обращающихся за займом дистанционно через сайт МФО) было предложено анализировать его страницу в социальной сети и выявлять набор данных, характеризующих его активность в интернете. И в том и в другом случае на протяжении определенного периода времени формировалась база данных с кредитной историей, которая легла в основу таблицы прецедентов. Это позволило на основании данных кредитной истории в таблице прецедентов каждому из заемщиков поставить в соответствие наборы $\langle K^m; \mu^m; K^{m+1}; \mu^{m+1} \rangle$, где K^m и K^{m+1} – «смежные» категории заемщиков (например, K^1 и K^2 , K^2 и K^3 , K^3 и K^4), а μ^m и μ^{m+1} – степени принадлежности i -го заемщика к соответствующей категории K^m и K^{m+1} (согласно графическому классификатору).

Таким образом, расширенный цифровой профиль можно представить собой в виде кортежей:

- для оффлайн-заемщика $\langle B_i; R_i^j; K^m; \mu^m; K^{m+1}; \mu^{m+1} \rangle$, где B_i – значения параметров базовой скоринговой модели;
- для онлайн-заемщика можно представить в виде кортежа: $\langle B_i; DP_i^j; K^m; \mu^m; K^{m+1}; \mu^{m+1} \rangle$, где DP_i^j – значения выгруженных из страницы социальной сети сведений об активности заемщика в интернете.

На основании вышеизложенного методику классификации заемщиков с помощью прецедентного подхода можно представить в виде блок-схемы (рис. 2).

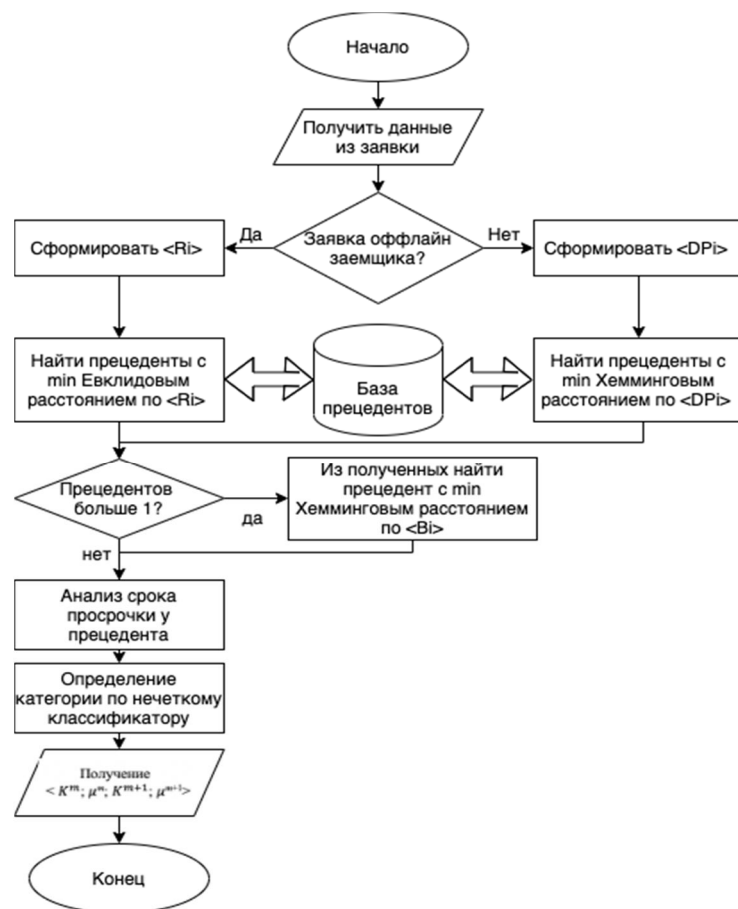


Рисунок 2 – Блок-схема методики классификации заемщиков

Важно отметить, что в случае если в результате вычисления Хеммингова расстояния по данным базовой скоринговой модели (B_i) прецедентов окажется несколько, то дальнейшие расчеты осуществляются с учетом рискованной стратегии МФО [8]:

- при выборе ЛПР стратегии минимизации риска МФО выбирается тот прецедент, в котором индекс m в K^m принимает наибольшее значение. В случае равенства индексов m оставить тот прецедент, в котором значение μ^m будет минимальным.
- при выборе ЛПР стратегии наибольшей лояльности к заемщику выбирается тот прецедент, в котором индекс m в K^m принимает наименьшее значение. В случае равенства индексов m оставить тот прецедент, в котором μ^m будет максимальным.

Критерий эффективности принятия решений в МФО. Основным критерием для ЛПР при принятии решения по микрофинансированию i -го клиента является норма рентабельности вложенных средств (ROE).

Величина дохода W_i от микрофинансирования i -го заемщика зависит от суммы займа, дней пользования займом и величины процента за использование. Кроме того, необходимо учесть, что на значение W_i оказывает влияние степень принадлежности заемщика к той или иной категории.

Для категории K^1 судебные издержки и просрочка возврата займа отсутствуют, поэтому формула для расчета дохода принимает вид:

$$W_i^1 = S_i P_i^{use} D_i^{use}, \quad (4)$$

где S_i – сумма заемных средств, выданных i -му клиенту; P_i^{use} – процент за пользование заемными средствами; D_i^{use} – срок, на который выдавался заем по условиям договора.

Для категории K^2 и K^3 при расчете дохода необходимо дополнительно учесть факт просрочки путем прибавления суммы штрафа за просрочку:

$$W_i^2 = S_i P_i^{use} (D_i^{use} + D_i^{del}) + S_i P_i^{del} D_i^{del}, \quad (5)$$

$$W_i^3 = S_i P_i^{use} (D_i^{use} + D_i^{del}) + S_i P_i^{del} D_i^{del}, \quad (6)$$

где P_i^{del} – процент за просрочку возврата заемных средств; D_i^{del} – количество дней просрочки возврата заемных средств. При расчете прибыли при кредитовании заемщика категории K^3 доход будет уменьшаться на величину расходов R_i .

Для категории K^4 доход образуется из суммы, проданной с дисконтом коллекторам общей задолженности (с учетом процентов за пользование и просрочку). Обычно коэффициент дисконта (q) при этом составляет 0,7–0,8. Таким образом, для расчета W_i клиента из категории K^4 получаем формулу:

$$W_i^4 = (1 - q) * (S_i P_i^{use} (D_i^{use} + D_i^{del}) + S_i P_i^{del} D_i^{del}). \quad (7)$$

С учетом формул 4–6 общий доход, полученный от выдачи микрозайма i -му заявителю, вычисляется по формуле:

$$W_i = W_i^m \mu^m + W_i^{m+1} \mu^{m+1}, \quad (8)$$

где μ^m, μ^{m+1} – степени принадлежности к категориям K^m и K^{m+1} соответственно; W_i вычисляется по формулам (4–7) для каждой из соответствующих категорий.

Таким образом, для принятия решения о выдаче или отказе в выдаче микрозайма очередному $(N + 1)$ -му заявителю необходимо вычислить $ROE(N)$ и $ROE(N + 1)$. Заявка на микрокредитование одобряется при соблюдении условия:

$$ROE(N + 1) \geq ROE(N) \quad (9)$$

где $ROE(N + 1)$ – рентабельность кредитного портфеля в случае, если выдать заём $(N + 1)$ -му заявителю; $ROE(N)$ – рентабельность кредитного портфеля до поступления заявки на заём от $(N + 1)$ -го заявителя.

При этом количество дней пользования займом, процент за пользование и просрочку, срок, на который выдается заём, определяется для $(N+1)$ -го заемщика из его заявки. Предполагаемое количество дней просрочки определяется, исходя от степени принадлежности заемщика к той или иной категории по уровню финансовой ответственности, которая определяется по изложенным выше методикам для оффлайн- или онлайн-заявителя.

Таким образом, методику принятия решения по выдаче микрозаймов в МФО обобщенно можно представить следующим образом:

1. ЛПР выбирает рисковую стратегию: минимизации рисков или наибольшей лояльности к клиенту.
2. Из заявки на заём выгружаются данные о заявителе.
3. Если заемщик обращается впервые:
 - для оффлайн-заемщика определяется $B_i; R_i^j$.
 - для онлайн-заемщика определяется DP_i, B_i берётся из заявки.
4. Определяется категория заемщика по методике определения первичного оффлайн-заемщика или методике первичного онлайн-заемщика в зависимости от способа его обращения. Если заемщик обращается повторно, категория определяется по данным последнего кредитного обслуживания или кредитной истории в сторонней организации из Бюро кредитных историй (БКИ).
5. Вычисляется рентабельность при кредитном обслуживании заявителя. Если рентабельность не снижается, заявка одобряется. В противном случае – отклоняется.

В приведенном виде она может быть тиражирована и адаптирована для конкретной МФО.

Программная реализация предложенной методики принятия решения по выдаче микрозайма. Программный комплекс автоматизирует процесс принятия решения по оффлайн- и онлайн-заявителям. Для желающих получить заём лично вербальные признаки обрабатываются в модуле ППОЗ (построение профиля оффлайн-заемщика), для онлайн-заявителей – данные с их страниц социальной сети обрабатываются в модуле ПАД СЗ (парсинг и анализ данных страниц заявителей). Выявление степени принадлежности заявителя к той или иной категории по уровню финансовой ответственности обеспечивает модуль определения категории заемщика (ОКЗ). В случае если заявитель вторичный, ОКЗ выявляет степень принадлежности по данным из Бюро кредитных историй. Модуль принятия решения (ПР) по полученным от ОКЗ данным формирует решение об одобрении или отклонении заявки на заём. Все вышеперечисленные модули образуют единый программный комплекс поддержки принятия управленческих решений в МФО (ПКППР-МФО) (рис. 3).

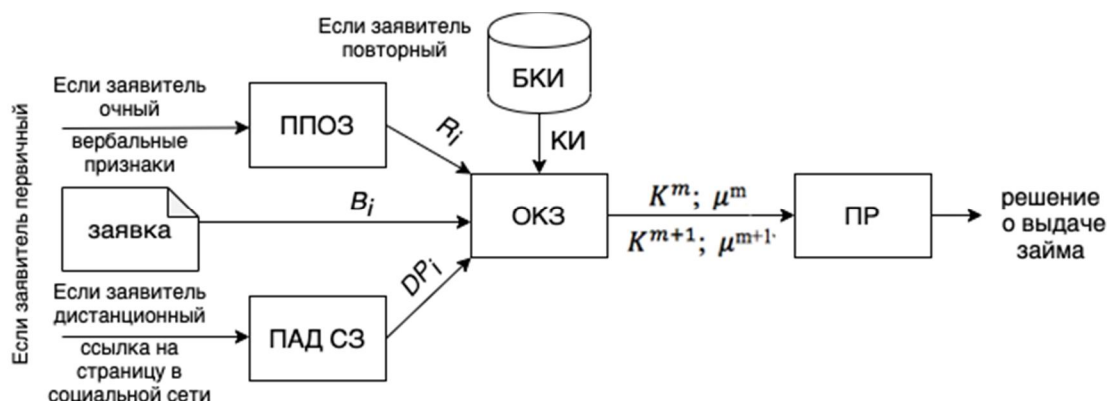


Рисунок 3 – Структура программного комплекса поддержки принятия управленческих решений по выдаче займов в микрофинансовых организациях

Разработанный комплекс дает возможность не только проводить процедуру оценки предполагаемого уровня финансовой ответственности заявителя, но и вести журнал результатов предыдущих оценок, что позволяет отслеживать динамику изменения категории заемщика и делать выводы об адекватности разработанной методики.

Применение разработанных модулей повышает эффективность принятия управленческих решений по выдаче микрозаймов для микрофинансовых организаций, которые осуществляют работу в офлайн- и онлайн-режимах, путем повышения рентабельности использования их оборотного капитала.

Заключение. Предложенная в рамках данной статьи методика принятия решения по выдаче микрозаймов и ее программная реализация основывается на классификации заемщиков по уровню финансовой ответственности и прибыльности их обслуживания с точки зрения рентабельности собственного капитала МФО. Под уровнем финансовой ответственности понимается предполагаемый срок возврата заемных средств, полученных в рамках договора кредитного обслуживания. Для классификации заемщиков по выделенным категориям предлагается формировать расширенный цифровой профиль заявителя, основанный, в зависимости от способа обращения клиента – через офис обслуживания или веб-сайт, на анализе вербальных характеристик заявителя или данных на его странице в социальных сетях.

Библиографический список

1. Обзор основных показателей деятельности микрофинансовых институтов № 4 за 2019 год. Центральный банк. – Москва, 2020. – С. 26. – Режим доступа: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/72204/review_mfo_19.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 06.09.2020).
2. Билюченко Г. С. Проблемы и перспективы развития микрофинансовой деятельности в России в свете поправок в закон «О микрофинансовой деятельности и микрофинансовых организациях» и указания ЦБ РФ № 3984-У / Г. С. Билюченко // Концепт. – 2017. – № Т39. – С. 3696–3700.
3. Кучерова С. В. Моделирование оценки платежеспособности клиентов микрофинансовой организации / С. В. Кучерова, Г. В. Аверкова // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2017. – № 4 (31). – С. 22–27.
4. Крылов А. В. Проблема извлечения знаний с использованием рассуждений на основе прецедентов / А. В. Крылов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2018. – Т. 61, № 11. – С. 956–962.
5. Кузнецова В. Ю. Нечеткий подход при кластеризации заемщиков микрофинансовых организаций / В. Ю. Кузнецова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – № 8 (2). – DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.031. – Режим доступа: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/Kuznetsova_2_20_1.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
6. Кузнецова В. Ю. Классификация заемщиков микрофинансовых организаций на основе построения расширенного цифрового профиля и прецедентного подхода / В. Ю. Кузнецова, И. М. Ажмухамедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 3 (33). – С. 98–103.
7. Пономаренко В. В. Практическая характерология. Методика 7 радикалов / В. В. Пономаренко. – Москва : АСТ, 2019. – С. 224.
8. Etim A. S. Micro-Loans In Ghana: Assessing Relationships Between Payment Of Interest And Loan Characteristics / A. S. Etim, G. Heilman // International Business & Economics Research Journal (IBER). – 2014. – № 13 (5). – P. 1017. – DOI: 10.19030/iber.v13i5.8768.

References

1. *Obzor osnovnykh pokazateley deyatelnosti mikrofinansovykh institutov № 4 za 2019 god. Tsentralnyy bank* [Review of the main performance indicators of microfinance institutions no. 4 for 2019. Central bank]. Moscow, 2020, p. 26. Available at: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/72204/review_mfo_19.pdf (accessed 09.06.2020).
2. Bilyuchenko G. S. Problemy i perspektivy razvitiya mikrofinansovoy deyatelnosti v Rossii v svete popravok v zakon «O mikrofinansovoy deyatelnosti i mikrofinansovykh organizatsiyakh» i ukazaniya CB RF № 3984-U [Problems and prospects for the development of microfinance activities in Russia in the light of amendments to the law «On microfinance activities and microfinance organizations» and instructions of the Central Bank of the Russian Federation no. 3984-U]. *Kontsept* [Concept], 2017, no. T39, pp. 3696–3700.
3. Kucheroва S. V., Averkova G. V. Modelirovanie otsenki platezhеспособности klientov mikrofinansovoy organizatsii [Modeling the assessment of the solvency of clients of a microfinance organization]. *Vektor nauki Tolyatinskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i upravlenie* [Vector of Science of Tolyatti State University. Series: Economics and Management], 2017, no. 4 (31), pp. 22–27.
4. Krylov A. V. Problema izvlecheniya znaniy s ispolzovaniem rassuzhdeniy na osnove pretsedentov [The problem of knowledge extraction using reasoning based on precedents]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [Izvestia of higher educational institutions. Instrumentation], 2018, vol. 61, no. 11, pp. 956–962.
5. Kuznetsova V. Yu. Nechetkiy podkhod pri klasterizatsii zaemshchikov mikrofinansovykh organizatsiy [Fuzzy approach to clustering borrowers of microfinance organizations]. *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii* [Modeling, optimization and information technologies], 2020, no. 8 (2). DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.031. Available at: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/Kuznetsova_2_20_1.pdf.
6. Kuznetsova V. Yu. Azhmukhamedov I. M. Klassifikatsiya zaemshchikov mikrofinansovykh organizatsiy na osnove postroeniya rasshirennogo tsifrovogo profilya i pretsedentnogo podkhoda [Classification of borrowers of microfinance organizations based on the construction of an extended digital profile and a precedent approach]. *The Caspian Engineering and Construction Bulletin*. 2020. No. 3 (33). S. 98-103.
7. Ponomarenko V. V. *Prakticheskaya kharakterologiya. Metodika 7 radikalov* [Practical characterology. 7 radicals technique]. Moscow, AST Publ., 2019, p. 224.
8. Etim A. S., Heilman G. Micro-Loans In Ghana: Assessing Relationships Between Payment Of Interest And Loan Characteristics. *International Business & Economics Research Journal (IBER)*, 2014, no. 13 (5), p. 1017. DOI: 10.19030/iber.v13i5.8768.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ
И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)**

УДК 004.05:004.514

**МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ НАВИГАЦИОННОГО ГРАФА
ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ**

Статья поступила в редакцию 20.05.2020, в окончательном варианте – 04.09.2020.

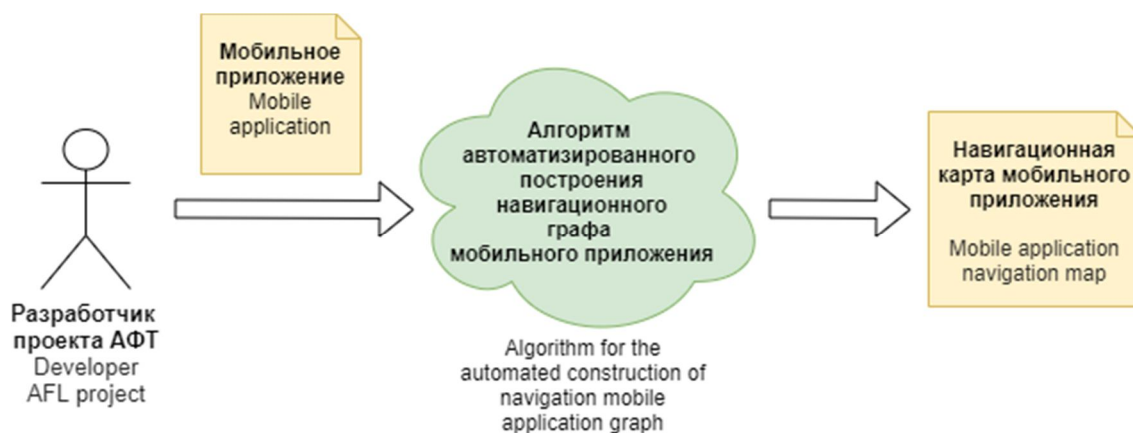
Горкавенко Владимир Сергеевич, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, аспирант, e-mail: slipmetal@mail.ru

Шуршев Валерий Федорович, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, доктор технических наук, профессор, e-mail: v.shurshev@mail.ru

Рассмотрен новый подход к созданию наглядной информации о мобильном приложении. Данную информацию можно создать с помощью автоматизированного построения навигационного графа пользовательского интерфейса мобильного приложения при разработке проекта автоматизации функционального тестирования (АФТ). Полученный результат может быть приложен к проектной документации. Актуальность данной работы обусловлена растущим рынком мобильных устройств и приложений для них. В связи с этим растет необходимость проведения качественного автоматизированного тестирования мобильных приложений. На текущий момент в сфере коммерческой разработки мобильных приложений, на начальных этапах разработки проекта автоматизации функционального тестирования (АФТ) пользовательского интерфейса, разработчик проекта автоматизации функционального тестирования, как правило, не имеет полной информации о тестируемом программном обеспечении, чтобы начать покрывать его функциональность автоматизированными скриптами тестирования. В частности, заказчиком не предоставляется достаточная информация о том, как логически реализованы переходы от одной информационной единицы на экране к другой, какие элементы находятся на экране и с какими из них пользователь может взаимодействовать, а также как реализована навигация в приложении. В работе представлено описание структуры абстрактного пользовательского интерфейса мобильного приложения, обосновано понятие логической связи экранов мобильного приложения. Формализована структура экранов и их взаимодействие между собой, описан алгоритм автоматизированного построения навигационного графа пользовательского интерфейса мобильного приложения. Определена мера сложности пользовательского интерфейса мобильного приложения. Это дает возможность перейти к реализации программного обеспечения, которое будет выполнять автоматизированное построение каталога пользовательского интерфейса мобильного приложения.

Ключевые слова: пользовательский интерфейс, UI, функциональное тестирование, автоматизация тестирования, тестирование UI, контроль качества, мобильное приложение, каталог интерфейса, навигационный граф

Графическая аннотация (Graphical annotation)



MODEL OF AUTOMATED BUILDING OF THE NAVIGATION GRAPH OF THE USER INTERFACE OF THE MOBILE APPLICATION

The article was received by the editorial board on 20.05.2020, in the final version – 04.09.2020.

Gorkavenko Vladimir S., Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

graduate student, e-mail: slipmetal@mail.ru

Shurshev Valery F., Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: v.shurshev@mail.ru

A new approach to creating visual information about a mobile application is considered. This information can be created using the automated construction of the navigation graph of the user interface of a mobile application when developing a functional testing automation project. The result can be attached to the design documentation. The relevance of this work is due to the growing market for mobile devices and applications for them. In this regard, the need for high-quality automated testing of mobile applications is growing. At the moment in the field of commercial development of mobile applications, at the initial stages of development of a user interface functional testing automation project, the functional testing automation project developer, as a rule, does not have complete information about the software being tested in order to start covering its functionality with automated test scripts. In particular, the customer does not provide sufficient information about how the transitions from one information unit on the screen to another are logically implemented, which elements are on the screen and which of them the user can interact with, as well as how navigation is implemented in the application. The paper presents a description of the structure of an abstract user interface of a mobile application, substantiates the concept of a logical connection between screens of a mobile application. The structure of the screens and their interaction with each other are formalized, an algorithm for the automated construction of the navigation graph of the user interface of a mobile application is described. A measure of the complexity of the user interface of a mobile application has been determined. This makes it possible to proceed to the implementation of software that will perform automated building of the mobile application user interface catalog.

Keywords: user interface, UI, functional testing, test automation, UI testing, quality control, mobile app, interface catalog, navigation graph

Введение. На текущий момент информационные технологии развиваются вместе с растущими потребностями современного человека. Многие повседневные и необходимые действия, связанные с профессиональной деятельностью, личной коммуникацией, а также получением новой информации, как правило, выполняются через программное обеспечение (ПО) на смартфоне или на компьютере: просмотр новостных сводок, ведение личной переписки, выполнение видеозвонков, оплата счетов за ЖКХ, за обучение и т.д.

Сложность разработки и поддержки ПО, которое позволяет выполнять вышеперечисленные действия, также отражается на процессах оценки качества программного продукта. Оценка качества является одним из важнейших этапов в процессе разработки ПО, так как в процессе его выполнения производится проверка соответствия требований к разрабатываемому ПО и тем, что было реализовано.

Различным аспектам этой проблемы посвящено достаточно много работ. В статье [1] рассматриваются основные проблемы автоматизации тестирования: демонстрация соответствия требованиям, выявление ситуаций нежелательного поведения программы. Автор предлагает их решить с помощью генетических алгоритмов. В работе [2] достаточно подробно рассмотрены различные этапы работы, необходимые для построения системы автоматизированного тестирования ядра библиотеки, предназначенной для узкопрофильной операционной системы. Автором предложены различные подходы для создания тестовых приложений. В материале статьи [6] отражен математический подход к созданию специфических тестовых сценариев на основе реальных пользовательских сценариев использования приложения. В работе [12] рассмотрена задача оценки издержек и потерь, связанных со степенью защищенности внешних параметров объекта, которая достигается в том числе за счет регулярного проведения мероприятий по тестированию мер противодействия угрозам. В статье [14] автор рассматривает подход автоматизации процесса тестирования программного обеспечения с использованием метода разбиения по эквивалентности и анализа граничных значений, а также средства модульного тестирования JUnit.

Однако малоисследованным остается вопрос автоматизированного создания наглядной информации о мобильном приложении, в частности каталога пользовательского интерфейса.

Общая характеристика проблематики работы. Одним из этапов процесса оценки качества программного продукта является этап проведения тестирования [10, 14, 15]. Тестирование – это

проверка качества программного продукта, т.е. его точности и корректности реализации набора согласованных и утвержденных требований к программному продукту [17].

Согласно статистике, в 2019 году 63,5 % всех пользователей мобильных телефонов получают доступ к интернету со своего смартфона. На долю мобильной электронной торговли к 2021 г. будет приходиться 2,32 триллиона долларов, или около 67,2 % от общего объема продаж в сфере электронной коммерции. Диаграмма на рисунке 1 также подтверждает тенденцию к устойчивому росту процента мобильных телефонов среди общего трафика пользователей интернета в мире, что косвенно подтверждает рост использования смартфонов относительно других персональных компьютеров с возможностью использования интернета [16].

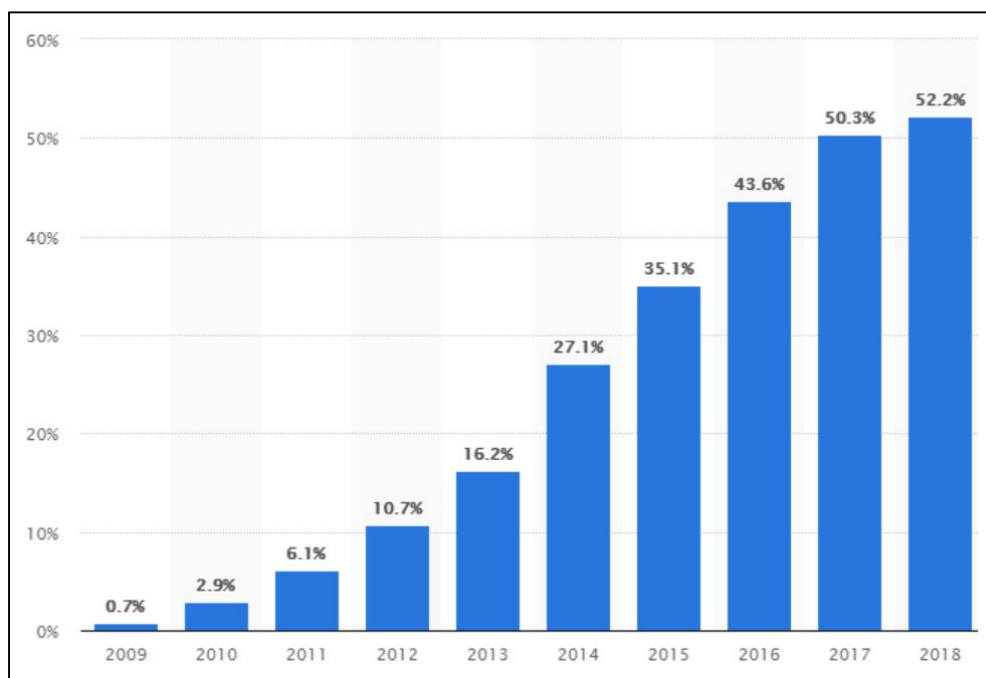


Рисунок 1 – Доля мобильного трафика в мире (по горизонтали – год; по вертикали – процент мобильного интернет-трафика от общего объема трафика)

Вместе с развитием пользовательских мобильных приложений и растущим интересом пользователей к мобильным устройствам также развивается и процесс тестирования. Одним из результатов такого развития стало появление новой сферы тестирования – автоматизированное тестирование ПО. Основными его преимуществами являются:

- повторяемость – любой написанный тест всегда будет выполняться однообразно, то есть исключен «человеческий фактор»;
- быстрое выполнение – автоматизированный скрипт быстрее человека сверяется с инструкциями и документацией, а также выполняет необходимые действия над ПО в процессе выполнения теста, это сильно экономит время выполнения.

Автоматизация тестирования – процесс построения и разработки систем, подсистем, скриптов для реализации выполнения тестовых сценариев с помощью программных средств. На текущий момент автоматизация процесса тестирования является одним из самых перспективных направлений развития информационных технологий в коммерческой разработке программного обеспечения [1–4, 6, 8–10, 12]. Существует множество видов автоматизированного тестирования, одним из которых является UI-тестирование [7]. Данный вид тестирования также называется сквозным, так как при его реализации специалист по тестированию или программное средство взаимодействуют с тестируемым продуктом на самом высоком уровне – на уровне User Interface (UI). Суть такого тестирования заключается в том, что аудитор пытается найти достаточно подтверждений тому, что структура и содержание описанной в проектной документации системы соответствует ее структуре и содержанию на практике [1–3].

На текущий момент в сфере коммерческой разработки мобильных приложений, на начальных этапах разработки проекта автоматизации функционального тестирования (АФТ) пользовательского интерфейса, разработчик проекта АФТ, как правило, не имеет полной информации

о тестируемом ПО, чтобы начать покрывать его функциональность автоматизированными скриптами тестирования. В частности, заказчиком не предоставляется достаточная информация о том, как логически реализованы переходы от одной информационной единицы на экране к другой, какие элементы находятся на экране и с какими из них пользователь может взаимодействовать, а также как реализована навигация в приложении [1–4, 6, 8–10].

Как правило, документация, которую предоставляет заказчик проекта АФТ, не дает подобной структурированной информации. Одним из возможных решений может являться разработка алгоритма построения иерархии экранов пользовательского интерфейса мобильного приложения. На данный момент ПО (в том числе платного), способного выполнять описанные выше действия, не было найдено.

В связи с этим конкретной *целью данной работы* стала разработка модели автоматизированного построения навигационного графа пользовательского интерфейса мобильного приложения. Разработке моделей различных предметных областей, связанных с данной темой, также посвящены работы [7, 11, 18].

Описание структуры абстрактного пользовательского интерфейса мобильного приложения. Существует большое количество мобильных приложений, которые сильно отличаются друг от друга. Это связано прежде всего с тем, что они направлены на различную пользовательскую аудиторию с различными потребностями. Есть простые приложения с упрощенным UI, которые имеют только одно представление (View). В то же время есть приложения с гораздо более сложной и структурированной навигацией и несколькими View [19–21]. Однако можно сказать, что практически любое мобильное приложение состоит из View двух категорий: верхнего уровня и уровня детализации. Визуализация такой структуры представлена на рисунке 2.

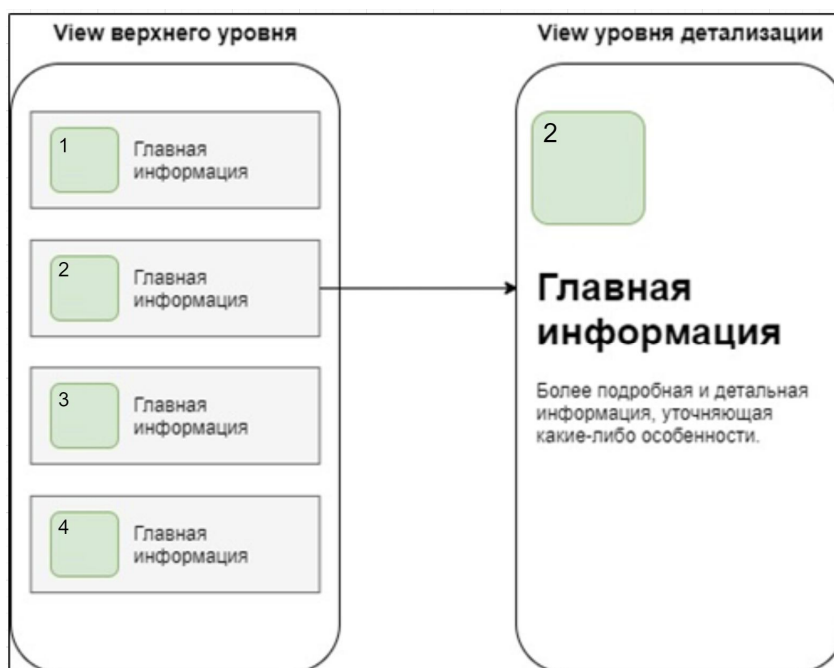


Рисунок 2 – Визуализация структуры мобильного приложения

View верхнего уровня – это область «посадки» мобильного приложения, т.е. первое, что видит пользователь после его запуска. На данном уровне, как правило, находятся элементы экрана, которые отражают главную информацию о каком-либо информационном объекте интереса пользователя. При интерактивном взаимодействии с этим элементом пользователь может получить дополнительную информацию на более низком уровне с точки зрения иерархии структуры пользовательского интерфейса.

View уровня детализации – это представление низкого уровня относительно View верхнего уровня, где пользователь может напрямую взаимодействовать с данными, доступными для просмотра или редактирования. В зависимости от типа компонента, который использует разработчик для отображения подробной информации пользователю, появляется возможность реализовать типовые решения, которые упрощают взаимодействие пользователя с приложением. На этом уровне разработчик может реализовать интуитивное перемещение по приложению, чтобы повысить удобство использования приложения (к примеру, используя типовое решение «смахивания» – Swipe) [19–21].

В связи с вышеизложенным можно утверждать, что View верхнего уровня и уровня детализации представляют из себя логически связанные экраны мобильного приложения различной степени архитектурной сложности (глубины дерева элементов) экрана пользовательского интерфейса, а также навигационной вложенности. Также можно сделать вывод о ограниченности навигационных возможностей мобильного интерфейса, так как одновременно на экране смартфона может отображаться только один экран приложения, в отличие от приложений, разработанных для десктопа.

Логическая связь экранов обуславливается возможностью перехода от одного экрана мобильного приложения к другому посредством интерактивного взаимодействия пользователя с мобильным приложением в целом или с отдельными элементами на экране. Такая логическая связь позволяет каталогизировать экраны мобильного приложения с целью дальнейшего построения иерархии, которая может быть представлена в виде древовидной структуры (на более верхнем уровне – в виде карты переходов мобильного приложения).

Для предполагаемой в будущем программной реализации проекта автоматизации построения навигационного графа экранов мобильного приложения была разработана соответствующая модель.

Характеристика модели. Пусть базовой (корневой) единицей модели является экран – $s_i \in \{Scr\}$. Тогда дочерними единицами экрана являются элементы экрана – $e_j \in s_i, e_j \in \{Elm\}$.

Составим множество $\{Elm\}$ основных элементов экрана, которые встречаются в пользовательском интерфейсе мобильного приложения: e_1 – кнопка; e_2 – текст; e_3 – изображение; e_4 – поле ввода.

Каждый из элементов (e_j) имеет свойства сущности ($p_k \in e_j$). У свойств $\{P\}$ есть параметры значений $\{C\}$. Каждое установленное значение свойства имеет соответствующий ему тип данных.

Составим множество свойств $\{P\}$ элементов $\{Elm\}$ с соответствующим типом параметров значений $\{C\}$:

- уникальный идентификатор (строковый тип);
- текст (название) – строковый тип;
- фактическое представление элемента на экране (булев тип);
- фактическое присутствие в дереве элементов экрана (булев тип);
- доступность действия $\{A\}$:
 - a_1 нажатие (булев тип);
 - a_2 ввод символов (булев тип).

Действия $\{A\}$ вызывают соответствующие события $\{O\}$.

При выполнении действия a_1 происходит одно или несколько событий ($a_1(e_j) \rightarrow \{O\}$):

- изменение свойств элементов, расположенных на текущем экране;
- переход на другой экран.

При выполнении действия a_2 происходит одно или несколько событий ($a_2(e_j) \rightarrow \{O\}$): изменение свойств элементов, расположенных на текущем экране.

Формализованная структура экранов мобильного приложения представлена в графическом виде на рисунке 3.

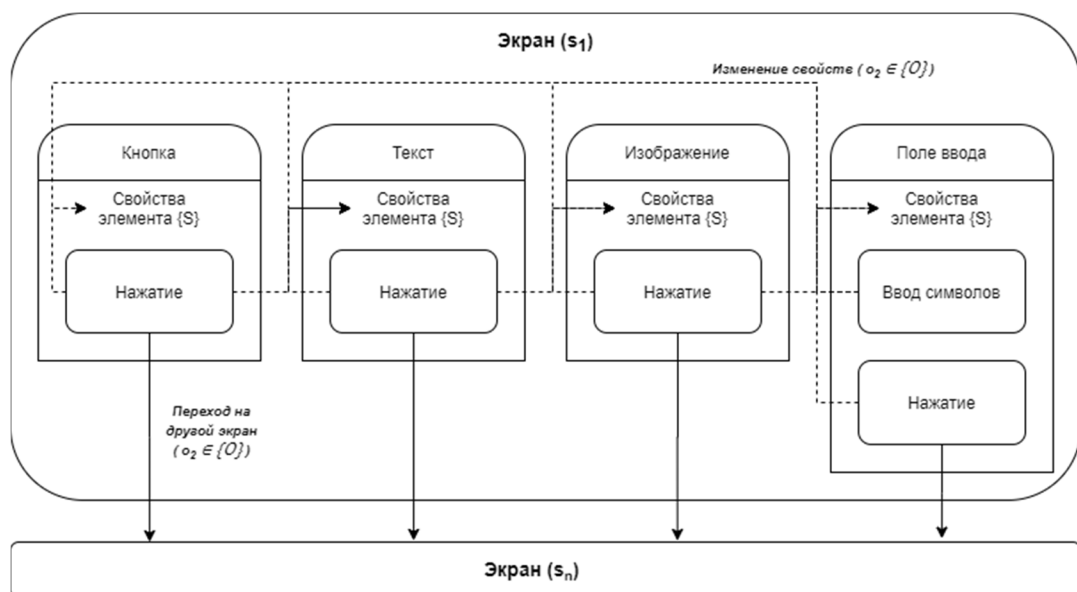


Рисунок 3 – Графическое представление структуры экранов мобильного приложения

Модель, выполняющую построение навигационного графа пользовательского интерфейса мобильного приложения, можно представить в следующем виде (рис. 4).



Рисунок 4 – Модель автоматизированного построения навигационного графа UI в виде «черного ящика»

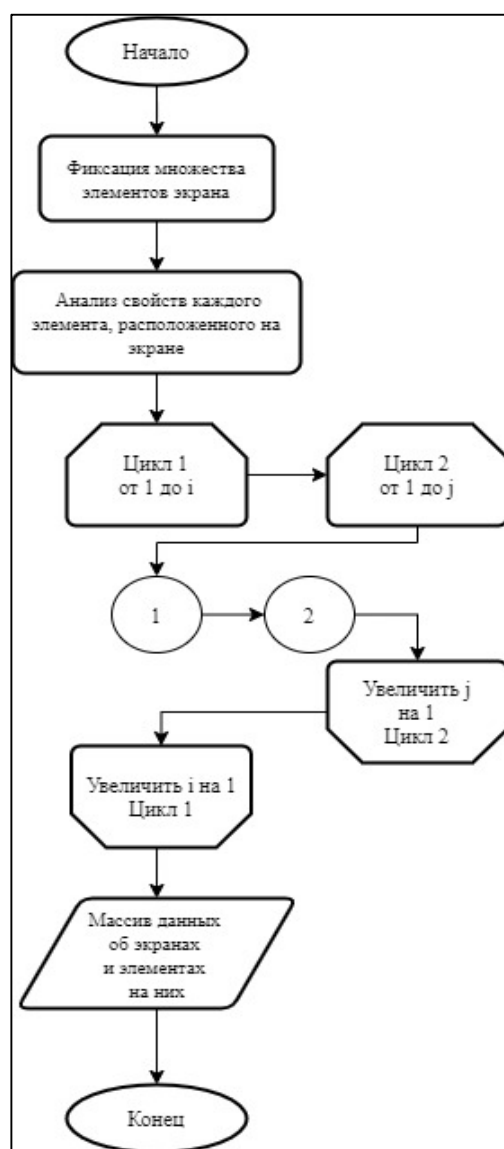


Рисунок 5.1 – Блок-схема этапов построения навигационного графа пользовательского интерфейса мобильного приложения (часть 1)

На рисунке 4 входным значением является множество экранов $\{Scr\}$, а выходным – результирующий массив данных (R), содержащий информацию о логических переходах между экранами, а также о свойствах элементов и действий, которые влияют на их изменение. Чтобы получить

результатирующий массив, необходимо, чтобы в «черном ящике» автоматизировано выполнялся алгоритм преобразования информации, которую содержат экраны. Так как на вход «черного ящика» подается массив данных, то необходимо, чтобы алгоритм автоматизированного построения навигационного графа позволял бы обработать все элементы массива.

Тогда каждую его итерацию можно представить в виде последовательности следующих этапов:

- 1) фиксация множества $\{Elm\}$ и анализ свойств $\{P\}$ каждого элемента e_j , расположенного на экране s_i ;
- 2) последовательное выполнение доступных действий из множества $\{A\}$ над каждым элементом экрана e_j ;
- 3) фиксация множества событий $\{O\}$ после выполнения действия a_i ;
- 4) анализ каждого произошедшего события o_i :
 - если произошедшее событие o_i – это переход к другому экрану, то логически связать экран s_i , на котором выполнялось действие a_i , с экраном s_j (с обязательным указанием через какой элемент e_j выполнялся переход);
 - иначе – логически связать событие o_i с элементами, свойства которых изменились после того, как оно произошло (с обязательным указанием того, какой элемент e_j и действие над ним a_i вызвало это событие).

Описанный выше алгоритм можно представить в виде блок-схемы (рис. 5.1–5.3). Результатом его выполнения будет являться массив данных, который хранит в себе информацию о логических переходах между экранами, а также о свойствах элементов и действий, которые влияют на их изменение.

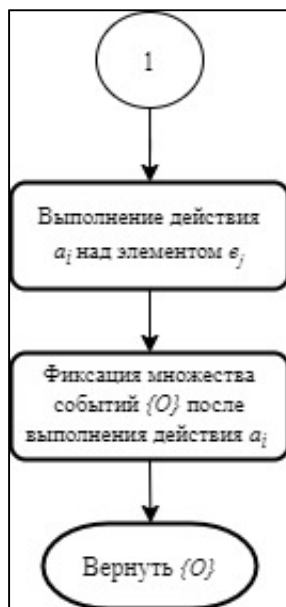


Рисунок 5.2 – Продолжение блок-схемы этапов построения навигационного графа пользовательского интерфейса мобильного приложения (часть 2)

Такой массив можно представить в виде графовой структуры. Согласно определению [5], графом $G(V, E)$ называется совокупность двух множеств – непустого множества V (множества вершин) и множества E его двухэлементных подмножеств множества V (E – множество ребер). Данное определение можно представить в следующем виде (1):

$$G(V, E) = [V; E], V \neq \emptyset, E \subset 2^V. \quad (1)$$

При этом вершинами V будут являться экраны $\{Scr\}$ мобильного приложения, а ребрами E будут являться выполненные действия a_i над элементами $e_i \in s_i$, $e_i \in \{Elm\}$, которые приводят к множеству событий $\{O\}$, каждое o_i из которых может содержать как изменение свойств элемента $e \in s_i$ без перехода на другой экран, так и непосредственный переход на экран $s_j \in \{Scr\}$. Так как все действия $\{A\}$ являются однонаправленными и могут порождать петли, можно сделать вывод, что такой граф будет являться сильно связным ориентированным псевдографом.

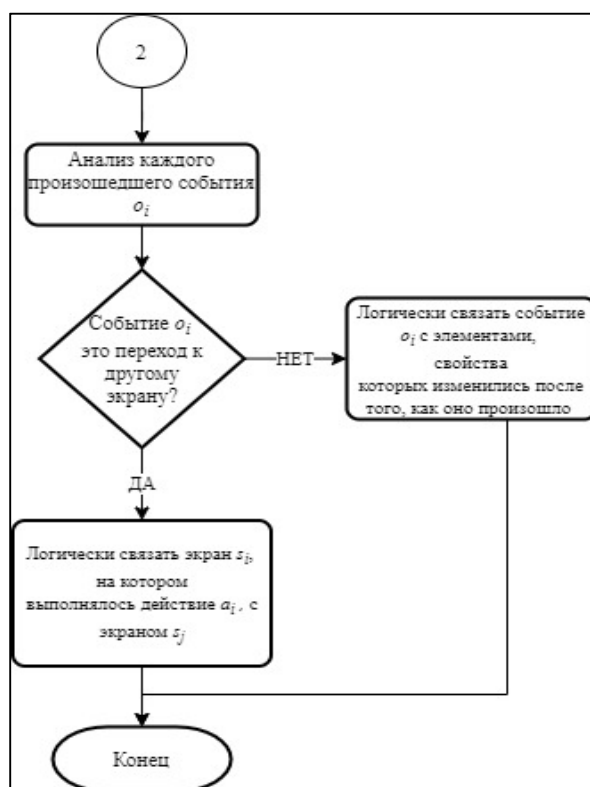


Рисунок 5.3 – Продолжение блок-схемы этапов построения навигационного графа пользовательского интерфейса мобильного приложения (часть 3)

Графически такую структуру можно представить в следующем виде (рис. 6).

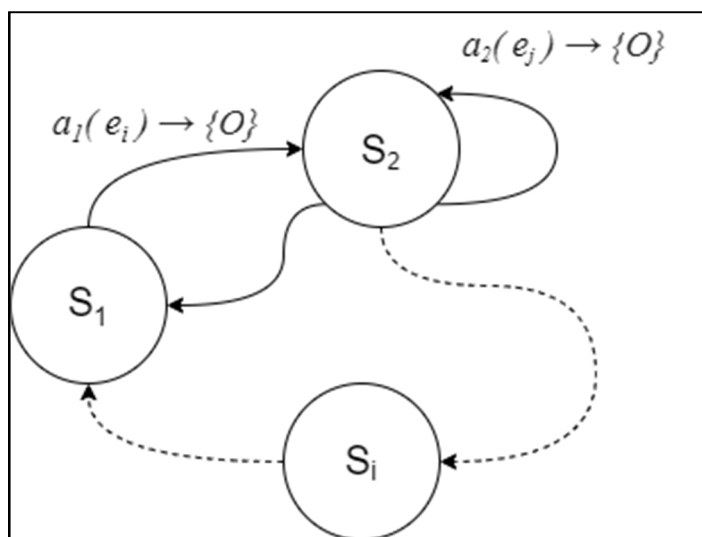


Рисунок 6 – Навигационный граф пользовательского интерфейса мобильного приложения

Полученный в результате автоматизированной обработки мобильного приложения навигационный граф пользовательского интерфейса возможно использовать как «карту переходов». Также результат выполнения возможно приложить к документации тестируемого мобильного приложения как один из проектных артефактов.

С помощью полученного графа становится возможным определение сложности пользовательского интерфейса мобильного приложения. В качестве основы для такого показателя можно использовать разработанную Томасом Дж. Маккейбом структурную (топологическую) меру – «Цикломатическая сложность программы».

Определение сложности интерфейса мобильного приложения. Так как данная мера используется для вычисления сложности части программного кода, необходимо адаптировать ее определение для вычисления сложности пользовательского интерфейса мобильного приложения.

Согласно [23], цикломатическая сложность части программного кода – это количество линейно независимых маршрутов через программный код. Математически цикломатическая сложность программы определяется с помощью ориентированного графа, узлами которого являются блоки программы, соединенные рёбрами, если управление может переходить с одного блока на другой. Тогда сложность программного кода определяется как (2):

$$M = E - N + 2P, \quad (2)$$

где M – цикломатическая сложность; E – количество рёбер в графе; N – количество узлов в графе; P – количество компонент связности.

Для сильносвязного графа (когда точка выхода соединена с точкой входа) сложность будет определяться как (3):

$$M = E - N + P. \quad (3)$$

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что цикломатическая сложность пользовательского интерфейса мобильного приложения – это количество линейно независимых маршрутов через пользовательский интерфейс мобильного приложения. Тогда сложность пользовательского интерфейса в отдельном независимом пользовательском бизнес-процессе приложения будет определяться как (4):

$$M_{ui} = |\{A\}| - |\{Scr\}| + 2P, \quad (4)$$

где M_{ui} – цикломатическая сложность пользовательского интерфейса; $|\{A\}|$ – количество действий над элементами, приведших к какому-либо событию; $|\{Scr\}|$ – количество экранов мобильного приложения; P – количество логических входов в отдельный независимый пользовательский бизнес-процесс.

Автоматизированный сбор информации об экранах мобильного приложения – это циклический и замкнутый процесс, где точкой входа и выхода является один и тот же экран. Так как результатом выполнения алгоритма построения навигационного графа пользовательского интерфейса мобильного приложения является сильносвязный ориентированный граф, справедливо утверждать, что сложность пользовательского интерфейса мобильного приложения будет определяться как (5):

$$M_{ui} = |\{A\}| - |\{Scr\}| + 1, \quad (5)$$

Предположим, имеется мобильное приложение, состоящее из 3 экранов, на экранах S_1 , S_2 , S_3 имеется по 2 элемента. Нажатие на каждый из этих элементов на соответствующих экранах приводит к событию перехода на один из экранов или изменению свойства элемента на текущем. Описанные входные данные можно представить в следующем виде (6):

$$\begin{aligned} \{Scr\} &= \{S_1, S_2, S_3\}, \\ |\{Scr\}| &= 3, \\ e_1, e_2 &\in S_1, \\ e_3, e_4 &\in S_2, \\ e_5, e_6 &\in S_3, \\ a_1(e_1) &\rightarrow \{S_2\}, \\ a_1(e_2) &\rightarrow \{S_3\}, \\ a_1(e_3) &\rightarrow \{S_1\}, \\ a_1(e_4) &\rightarrow \{S_3\}, \\ a_1(e_5) &\rightarrow \{S_1\}, \\ a_2(e_6) &\rightarrow \{S_3\} \\ |\{A\}| &= 6. \end{aligned} \quad (6)$$

Согласно данным выше, возможно построить ориентированный сильносвязный граф (рис. 7).

Сложность пользовательского интерфейса мобильного приложения из примера будет равна:

$$M_{ui} = 6 - 3 + 1 = 4.$$

Полученный результат является приемлемым, согласно предложениям МакКейба [23], так как не превышает 10.

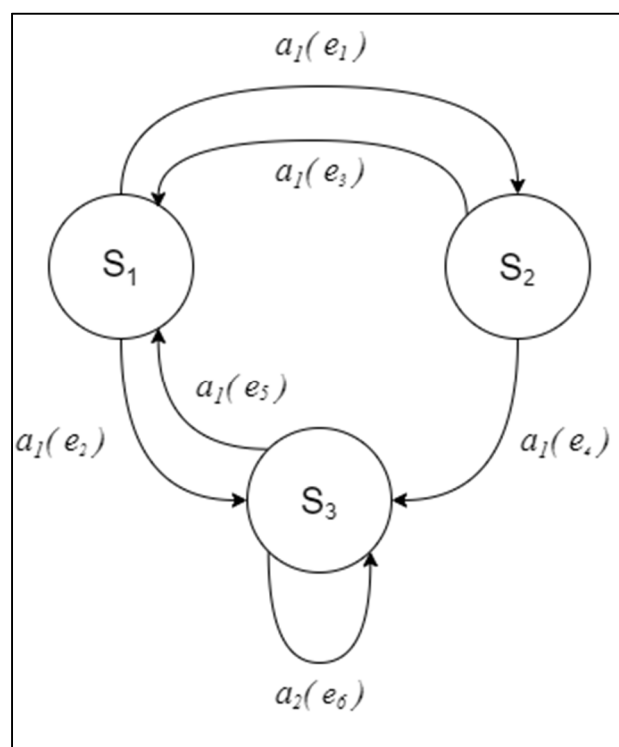


Рисунок 7 – Навигационный граф пользовательского интерфейса мобильного приложения на основе данных из примера

Вывод. В работе описана и визуализирована структура абстрактного пользовательского интерфейса мобильных приложений, рассмотрены основные компоненты, обоснована логическая связь экранов. Это позволило перейти к формализации модели и построению графического представления структуры экранов. Представлена модель автоматизированной каталогизации UI в виде «черного ящика». Эта модель содержит поэтапный алгоритм построения навигационного графа пользовательского интерфейса. Благодаря этому удалось применить метод оценки сложности интерфейса мобильного приложения на примере описанных входных данных. Полученные результаты позволяют применить их непосредственно в процессе реализации проекта автоматизированного тестирования мобильного приложения с целью структурирования информации о том, как реализована навигация в мобильном приложении.

Разработанная модель позволяет перейти к проектированию и реализации ПО, выполняющего автоматизированное построение каталога пользовательского интерфейса мобильного приложения.

Библиографический список

1. Артюхова А. С. Проблемы автоматизации тестирования и подходы к их решению / А. С. Артюхова // CETERIS PARIBUS. – 2016. – № 10. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-avtomatizatsii-testirovaniya-i-podhody-k-ih-resheniyu>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 19.05.2020).
2. Барладян Б. Х. Проблемы автоматизации тестирования программной реализации OpenGL Sc / Б. Х. Барладян, Л. З. Шапиро, А. А. Хлупина // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2018. – № 21. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-avtomatizatsii-testirovaniya-programmnoy-realizatsii-opengl-sc>, (дата обращения: 19.05.2020).
3. Бедняк С. Г., Тиханов А. А. Автоматизация процессов тестирования web-приложений // МНИЖ. 2013. – № 11-1 (18). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-protsssov-testirovaniya-web-prilozheniy>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 19.05.2020).
4. Веселов А. О. Автоматизация тестирования телекоммуникационных приложений / А. О. Веселов, А. С. Иванов, Б. В. Тютин, В. П. Котляров // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика, телекоммуникации и управление. – 2009. – № 3 (80). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-testirovaniya-telekommunikatsionnyh-prilozheniy>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 25.04.2020).
5. Гладких О. Б. Основные понятия теории графов / О. Б. Гладких, О. Н. Белых. – Елец : ЕГУ им. И.А. Бунина, 2008. – 175 с.
6. Дробинцев П. Д. Автоматизация тестирования на основе покрытия пользовательских сценариев / П. Д. Дробинцев, В. П. Котляров, И. Г. Черноруцкий // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского

государственного политехнического университета. Информатика, телекоммуникации и управление. – 2012. – № 4 (152). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-testirovaniya-na-osnove-pokrytiya-polzovatel'skih-stsenariiev>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 19.05.2020).

7. Иконников В. В. Разработка системы автоматизации регрессионного тестирования / В. В. Иконников, А. А. Лебедев // Объектные системы. – 2011. – № 1 (3). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-sistemy-avtomatizatsii-regressionnogo-testirovaniya>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 19.05.2020).

8. Квятковский К. И. Проектирование информационных систем для органов государственной власти / К. И. Квятковский, В. Ф. Шуршев // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-informatsionnyh-sistem-dlya-organov-gosudarstvennoy-vlasti>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 25.04.2020).

9. Ким В. Ю. Особенности разработки дизайна пользовательского интерфейса для мобильного приложения / В. Ю. Ким // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2015. – № 18. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-razrabotki-dizayna-polzovatel'skogo-interfeysa-dlya-mobilnogo-prilozheniya>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 25.04.2020).

10. Колмогоров К. А. Роль автоматического тестирования в процессе разработки программного обеспечения / К. А. Колмогоров // КИО. – 2006. – № 3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-avtomaticheskogo-testirovaniya-v-protseesse-razrabotki-programmnogo-obespecheniya>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 19.05.2020).

11. Кравченко П. П. Автоматизация тестирования программных интерфейсов приложений: метод и средства / Кравченко П. П., Бирюков С. В. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-testirovaniya-programmnyh-interfeysov-prilozheniy-metod-i-sredstva>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 19.05.2020).

12. Магомедов Ш. Г. Построение моделей описания рисков охранных действий по защите внешних периметров организации / Ш. Г. Магомедов, В. Ф. Шуршев, Г. А. Попов, А. Ф. Дорохов, М. Ф. Руденко // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2017. – № 3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-modeley-opisaniya-riskov-ohrannyh-deystviy-po-zaschite-vneshnih-perimetrov-organizatsii>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 19.05.2020).

13. Мартюкова Е. С. О внедрении процесса автоматизации тестирования в различных методологиях разработки программного обеспечения / Е. С. Мартюкова // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2015. – № 18. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vnedrenii-protseessa-avtomatizatsii-testirovaniya-v-razlichnyh-metodologiyah-razrabotki-programmnogo-obespecheniya>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 19.05.2020).

14. Нагаев Р. А. Автоматизация процесса тестирования программного обеспечения с применением JUnit / Р. А. Нагаев, И. С. Полевщиков // Вестник науки и творчества. – 2016. – № 5 (5). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-protseessa-testirovaniya-programmnogo-obespecheniya-s-primeneniem-junit>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 19.05.2020).

15. Блэк Рэкс. Ключевые процессы тестирования. Планирование, подготовка, проведение, совершенствование / Блэк Рэкс. – Москва : Лори, 2011. – 544 с.

16. Стерлягов С. П. Применения User Experience/User Interface (UX/UI) в разработке мобильных приложений / С. П. Стерлягов, Е. П. Селютина // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 08 (62), ч. 3. – С. 69–73. – Режим доступа: <https://research-journal.org/technical/primenenie-user-experienceuser-interface-modelirovaniya-dlya-razrabotki-mobilnogo-prilozheniya/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 25.04.2020).

17. Статистика Интернета 2019: трафик, сайты и блоги, домены, социальные медиа, онлайн-реклама и электронная коммерция – свежие цифры и факты // sdvv.ru – Режим доступа: <https://sdvv.ru/articles/elektronnaya-kommertsiya/statistika-interneta-2019-trafik-sayty-i-blogi-domeny-sotsialnye-media-onlayn-reklama-i-elektronnaya/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 12.05.2020).

18. Тестирование. Фундаментальная теория // habr.com. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/279535/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 12.05.2020).

19. Шуршев В. Ф. Автоматизированная система обработки информации во время формирования топологии сети мониторинга природной территории / В. Ф. Шуршев, Э. Р. Чишиев, А. А. Сорокин, Л. В. Галимова, В. Н. Есауленко // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2017. – № 3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannaya-sistema-obrabotki-informatsii-vo-vremya-formirovaniya-topologii-seti-monitoringa-prirodnoy-territorii>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 19.05.2020).

20. Francesco Azzola. Android UI Design Basics / Francesco Azzola. – Java Code Geeks, 2016. – 132 p.

21. Lee Copeland. A Practitioner's Guide to Software Test Design. – Artech House, 2004. – 300 p.

22. Ron Patton. Software Testing / Ron Patton. – Sams Publishing, 2005. – 408p.

23. McCabe. A Complexity Measure / McCabe // IEEE Transactions on Software Engineering. – 1976. – December. – P. 308–320.

References

1. Artyukhova A. S. Problemy avtomatizatsii testirovaniya i podkhody k ikh resheniyu [Test automation problems and approaches to their solution]. *CETERIS PARIBUS*, 2016, no. 10. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-avtomatizatsii-testirovaniya-i-podhody-k-ih-resheniyu> (accessed 19.05.2020).
2. Barladyan B. H., Shapiro L. Z., Khlupina A. A. Problemy avtomatizatsii testirovaniya programmnoy realizatsii OpenGL Sc [Test automation problems for software implementation of OpenGL Sc]. *Novye informatsionnye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh* [New information technologies in automated systems], 2018, no. 21. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-avtomatizatsii-testirovaniya-programmnoy-realizatsii-opengl-sc> (accessed 19.05.2020).
3. Bednyak S. G., Tikhonov A. A. Avtomatizatsiya protsessov testirovaniya web-prilozheniy [Automation of web application testing processes]. *Mezhdunarodnyy nauchno-bssledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2013, no. 11–1 (18). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-protsessov-testirovaniya-web-prilozheniy> (accessed 19.05.2020).
4. Veselov A. O., Ivanov A. S., Tyutin B. V., Kotlyarov V. P. Avtomatizatsiya testirovaniya telekommunikatsionnykh prilozheniy [Automation of testing telecommunication applications]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika, telekommunikatsii i upravlenie* [Scientific and technical bulletin of the St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science, telecommunications and management], 2009, no. 3 (80). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-testirovaniya-telekommunikatsionnykh-prilozheniy> (accessed 25.04.2020).
5. Gladkikh O. B., Belykh O. N. *Osnovnye ponyatiya teorii grafov* [Basic concepts of graph theory]. Yelets, Yelets State University named after I.A. Bunin, 2008. 175 p.
6. Drobintsev P. D., Kotlyarov V. P., Chernoruckiy I. G. Avtomatizatsiya testirovaniya na osnove pokrytiya polzovatel'skikh stsensariyev [Automation of testing based on the coverage of user scenarios]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika, telekommunikatsii i upravlenie* [Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science, telecommunications and management], 2012, no. 4 (152). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-testirovaniya-na-osnove-pokrytiya-polzovatel'skikh-stsenariyev> (accessed 19.05.2020).
7. Ikonnikov V. V., Lebedev A. A. Razrabotka sistemy avtomatizatsii regressionnogo testirovaniya [Development of a regression testing automation system]. *Obektnye sistemy* [Object systems], 2011, no. 1 (3). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-sistemy-avtomatizatsii-regressionnogo-testirovaniya> (accessed 19.05.2020).
8. Kvyatkovskiy K. I., Shurshev V. F. Proektirovanie informatsionnykh sistem dlya organov gosudarstvennoy vlasti [Designing information systems for government authorities]. *Vestnik Asrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of ASTU. Series: Management, Computer Engineering and Informatics], 2011, no. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-informatsionnykh-sistem-dlya-organov-gosudarstvennoy-vlasti> (accessed 25.04.2020).
9. Kim V. Yu. Osobennosti razrabotki dizayna polzovatel'skogo interfeysa dlya mobilnogo prilozheniya [Features of the development of user interface design for a mobile application]. *Novye informatsionnye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh* [New information technologies in automated systems], 2015, no. 18. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-razrabotki-dizayna-polzovatel'skogo-interfeysa-dlya-mobilnogo-prilozheniya> (accessed: 25.04.2020).
10. Kolmogorov K. A. Rol avtomaticheskogo testirovaniya v protsesse razrabotki programmnoy obespecheniya [The role of automatic testing in the process of software development]. *Kompyuternye instrumenty v obrazovanii* [Computer instruments in Education], 2006, no. 3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-avtomaticheskogo-testirovaniya-v-protsesse-razrabotki-programmnoy-obespecheniya> (accessed 19.05.2020).
11. Kravchenko P. P., Biryukov S. V. Avtomatizatsiya testirovaniya programmnykh interfeysov prilozheniy: metod i sredstva [Automation of testing of application programming interfaces: method and means]. *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Technical science], 2012, no. 3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-testirovaniya-programmnykh-interfeysov-prilozheniy-metod-i-sredstva> (accessed 19.05.2020).
12. Magomedov Sh. G., Shurshev V. F., Popov G. A., Dorokhov A. F., Rudenko M. F. Postroenie modeley opisaniya riskov okhrannykh deystviy po zashchite vneshnikh perimetrov organizatsii [Building models for describing the risks of protective actions to protect the external perimeters of the organization]. *Vestnik Asrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of ASTU. Series: Management, Computer Engineering and Informatics], 2017, no. 3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-modeley-opisaniya-riskov-okhrannykh-deystviy-po-zaschite-vneshnikh-perimetrov-organizatsii> (accessed 19.05.2020).
13. Martyukova E. S. O vnedrenii protsessa avtomatizatsii testirovaniya v razlichnykh metodologiyakh razrabotki programmnoy obespecheniya [On the implementation of the test automation process in various methodologies of software development]. *Novye informatsionnye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh* [New information technologies in automated systems], 2015, no.18. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vnedrenii-protsessa-avtomatizatsii-testirovaniya-v-razlichnykh-metodologiyakh-razrabotki-programmnoy-obespecheniya> (accessed 19.05.2020).
14. Nagaev R. A., Polevshchikov I. S. Avtomatizatsiya protsessa testirovaniya programmnoy obespecheniya s primeneniem JUnit [Automation of software testing process using JUnit]. *Vestnik nauki i tvorchestva* [Bulletin

of science and creativity], 2016, no. 5 (5). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-protsesta-testirovaniya-programmnogo-obespecheniya-s-primeneniem-junit> (accessed 19.05.2020).

15. Blek Reks. *Klyuchevye protsessy testirovaniya. Planirovanie, podgotovka, provedenie, sovershenstvovanie* [Key testing processes. Planning, preparation, implementation, improvement]. Moscow, Lori Publ., 2011. 544 p.

16. Sterlyagov S. P., Selyutina E. P. *Primeneniya User Experience/User Interface (UX/UI) v razrabotke mobilnykh prilozheniy* [Applications of User Experience/User Interface (UX/UI) in the development of mobile applications]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2017, no. 08 (62), part 3, pp. 69–73. Available at: <https://research-journal.org/technical/primenenie-user-experienceuser-interface-modelirovaniya-dlya-razrabotki-mobilnogo-prilozheniya/> (accessed 25.04.2020).

17. Statistika Interneta 2019: trafik, sayty i blogi, domeny, socialnye media, onlayn-reklama i elektronnyaya kommertsiya – svezhie tsifry i fakty [Internet statistics 2019: traffic, sites and blogs, domains, social media, online advertising and e-commerce – fresh numbers and facts]. *sdvv.ru*. Available at: <https://sdvv.ru/articles/elektronnaya-kommertsiya/statistika-interneta-2019-trafik-sayty-i-blogi-domeny-sotsialnye-media-onlayn-reklama-i-elektronnaya/> (accessed 12.05.2020).

18. Testirovanie. Fundamentalnaya teoriya [Testing. Fundamental theory]. *habr.com*. Available at: <https://habr.com/ru/post/279535/> (accessed 12.05.2020).

19. Shurshev V. F., Chishiev E. R., Sorokin A. A., Galimova L. V., Esaulenko V. N. *Avtomatizirovannaya sistema obrabotki informatsii vo vremya formirovaniya topologii seti monitoringa prirodnoy territorii* [Automated information processing system during the formation of the topology of the natural area monitoring network]. *Vestnik Asrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of ASTU. Series: Management, Computer Engineering and Informatics], 2017, no. 3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannaya-sistema-obrabotki-informatsii-vo-vremya-formirovaniya-topologii-seti-monitoringa-prirodnoy-territorii> (accessed 19.05.2020).

20. Francesco Azzola. *Android UI Design Basics*. Java Code Geeks, 2016. 132 p.

21. Lee Copeland. *A Practitioner's Guide to Software Test Design*. Artech House, 2004. 300 p.

22. Ron Patton. *Software Testing*. Sams Publishing, 2005. 408 p.

23. McCabe. A Complexity Measure. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 1976, December, pp. 308–320.

УДК 004.42, 004.52

**РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧЕВЫХ КОМАНД
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Статья поступила в редакцию 20.05.2020, в окончательном варианте – 20.09.2020.

Егунов Виталий Алексеевич, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28

кандидат технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9087-3275>, e-mail: vegunov@mail.ru

Панюлайтис Станислав Владимирович, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28

магистрант, e-mail: staspan34@gmail.com

Целью данной работы являлось упрощение управления различными автоматизированными системами, к которым в данном случае относятся средства помощи инвалидам, система «умный дом» и т.д. Управление данными системами осуществляется с помощью организации человеко-машинного интерфейса с использованием нейронных сетей. Основой данного интерфейса является распознавание голосовых команд системой на базе микроконтроллера с относительно невысокими вычислительными характеристиками. Реализованная в ходе работы нейросеть превосходит популярную библиотеку FANN [11] по точности, скорости обучения, скорости распознавания и требуемым аппаратным ресурсам. Проведена исследовательская работа, в результате которой получена оптимальная структура искусственной нейронной сети, предназначенной для распознавания речевых команд, разработаны соответствующие алгоритмы и программа. Разработана методика, использующая нейросетевые технологии, позволяющая быстро и эффективно осуществлять обучение системы распознавания на микроконтроллере. Исследовано влияние шума и топологии нейросети на качество распознавания.

Ключевые слова: распознавание речи, нейронные сети, библиотека FANN, голосовое управление, скрытые марковские модели, дискретное преобразование Фурье

Графическая аннотация (Graphical annotation)



RECOGNITION OF SPEECH COMMANDS USING NEURAL NETWORKS

The article was received by the editorial board on 20.05.2020, in the final version – 20.09.2020.

Egunov Vitaly A., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

Cand. Sci. (Engineering), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9087-3275>, e-mail: vegunov@mail.ru

Paniulaitis Stanislav V., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

master student, e-mail: staspan34@gmail.com

The purpose of this work was to simplify the management of various automated systems, which in this case include AIDS for the disabled, the "smart home" system, etc. These systems are managed by organizing a human-machine interface using neural networks. The basis of this interface is the recognition of voice commands by a system based on a microcontroller with relatively low computational characteristics. The implemented neural network surpasses the popular FANN library [11] in terms of accuracy, learning speed, recognition speed, and required hardware resources. Research work aimed at obtaining the optimal structure of an artificial neural network designed for speech command recognition has been carried out, and appropriate algorithms and software have been developed. A technique based on neural network technologies has been developed that allows fast and efficient training of the recognition system on a microcontroller. The influence of noise on the quality of recognition is determined, and the influence of neural network topology on the quality of recognition has been determined.

Keywords: speech recognition, neural networks, FANN library, voice control, hidden Markov models, discrete Fourier transform

Введение. С каждым годом технологии развиваются все стремительнее. Результатом данного развития становится появление огромного количества самых разных вычислительных систем. Данные устройства интегрируются в нашу повседневную жизнь, становятся не просто мобильными, а очень компактными. Современный человек может постоянно носить с собой несколько сложных интеллектуальных систем, необходимых ему в жизни. Смарт-часы, умные фитнес-браслеты и даже устройства дополненной реальности уже сейчас стали широко доступны. Взаимодействие человека с подобными устройствами может сильно отличаться от взаимодействия со смартфонами.

Все более важной становится задача взаимодействия человека с подобными системами [2], постоянно растет потребность в организации новых способов коммуникации. С этой точки зрения голосовое управление активно развивается, достаточно хорошо зарекомендовало себя в самых разных областях вычислительной техники.

Компактность современных вычислительных систем позволяет использовать их в качестве основы для построения систем управления различными объектами, включая антропоморфные. В качестве примера здесь можно привести электродвижимые инвалидные кресла [1]. Голосовой интерфейс широко применяется в IoT-устройствах в качестве контроллеров умных домов и в целом ряде других систем.

подавляющее большинство существующих решений либо требуют постоянного подключения к интернету, либо имеют системные требования выше тех, что предоставляют используемые повсеместно низкопроизводительные микроконтроллеры. Зависимость подобных систем от сети интернет может стать серьезной проблемой, так как существующие беспроводные сети имеют неполное покрытие. В качестве примера можно привести подземные парковки, лифты, загородные территории и т.д. Интернет даже может быть отключен в результате поломки или по каким-то иным причинам. При этом потеря контроля над инвалидным креслом, роботом или же потеря контроля над умным домом на время отключения интернета может доставлять неудобство, в ряде случаев даже стать критичным. Также наличие в устройстве доступа в интернет может подвергать опасности конфиденциальность пользователя.

В данной работе предлагается решение, позволяющее повысить удобство и доступность управления низкопроизводительными электронными устройствами. Целью работы являлось упрощение управления устройствами типа умного дома и рядом подобных устройств на базе микроконтроллера ESP8266EX путем разработки человеко-машинного интерфейса, использующего нейронные сети.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ известных решений;
- разработка схемы аппаратной части системы;
- разработка алгоритма решения задачи распознавания голосовых команд;
- разработка программной архитектуры;
- создание комплекса программ для организации человеко-машинного интерфейса.

Достоверность разработанной методики подтверждается многочисленными успешными тестами. Было осуществлено сравнение результатов, полученных при решении типовых задач распознавания с результатами, достигнутыми с помощью других, ранее известных алгоритмов. На основе данного сравнения была доказана сравнительная эффективность предложенного алгоритма.

Концептуальное проектирование. Функциональная схема системы распознавания голосовых команд представлена на рисунке 1. Система состоит из нескольких модулей, имеющих разное функциональное назначение.

Модуль получения данных. Данный модуль осуществляет считывание информации, описывающей голосовую команду. Необходимо отметить, что для получения достаточно полной информации для распознавания, необходимо правильно выбрать и расположить микрофон. Для этого модуля наиболее важной характеристикой является точность получаемых данных. Модуль распознавания представляет собой совокупность модулей нижнего уровня, предназначенных для решения задачи распознавания.

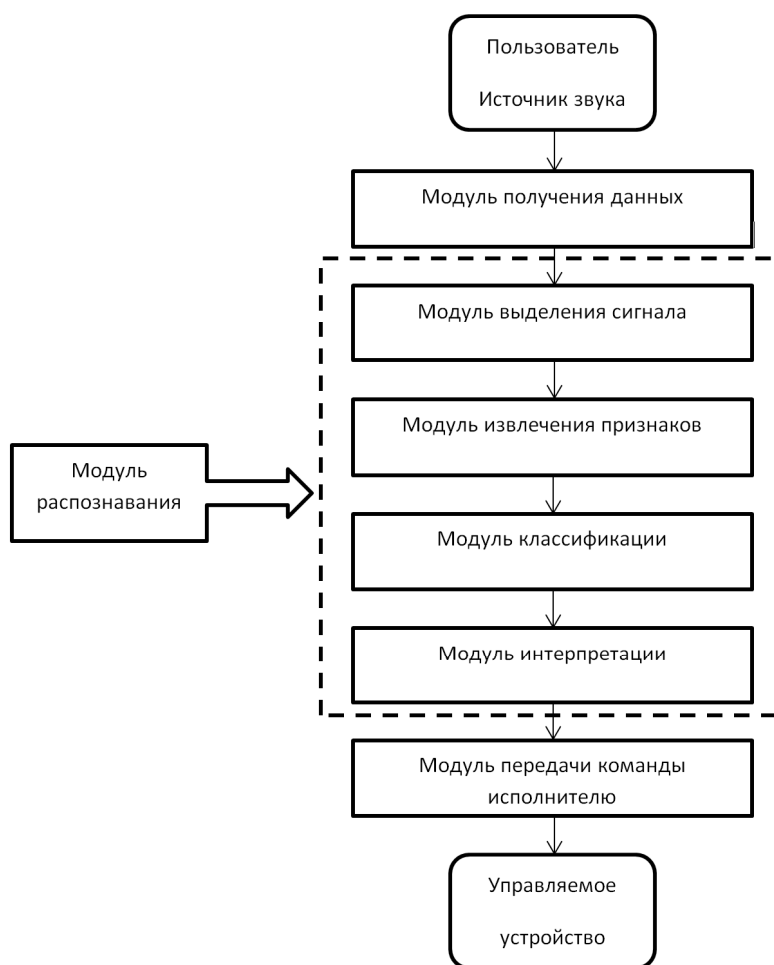


Рисунок 1 – Схема разрабатываемой системы

Модуль выделения сигнала. Предназначен для обрезания ранее созданной аудиозаписи, при этом остается только та ее часть, которая содержит произнесенное слово.

Модуль извлечения признаков. Предназначен для извлечения из необработанных сырых данных признаков, характеризующих команду. Также он может быть использован для решения задачи приведения выделенных признаков к формату, пригодному для прослушивания при определении эффективности метода выделения признаков.

Модуль нейросетевой классификации. Предназначен для определения команды по признакам с использованием одного из методов, описанных далее. К основным требованиям, которые предъявляются к данному модулю, решающему задачу классификации, относятся высокие точность определения команд и скорость выполнения операции.

Модуль интерпретации. Предназначен для преобразования распознанной голосовой команды в текстовую команду в соответствии с используемым словарем или в управляющие сигналы для какого-либо устройства.

Описание проектируемой системы. На рисунке 2 представлена диаграмма последовательности, иллюстрирующая взаимодействие модулей, участвующих в распознавании речевых команд.

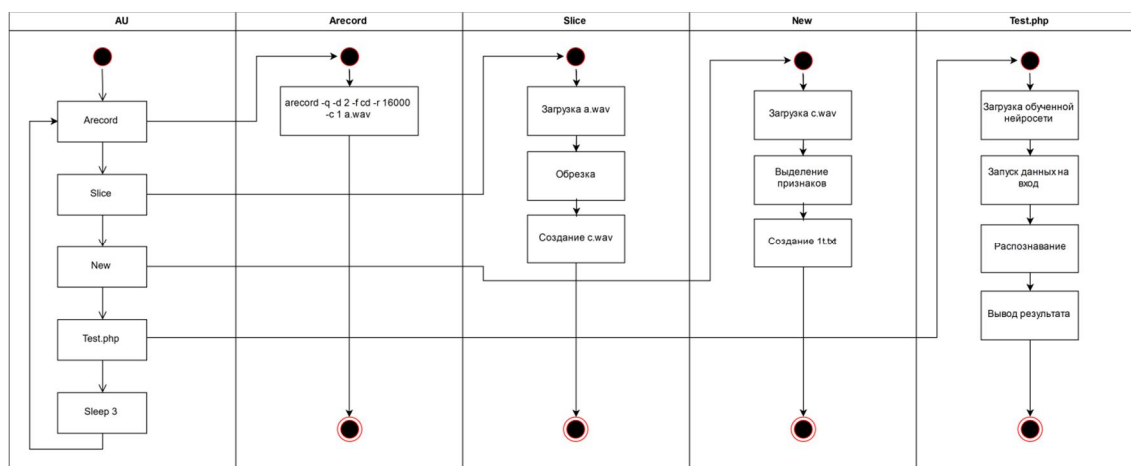


Рисунок 2 – Диаграмма последовательности

Запись звука. Записываемый звуковой сигнал должен обладать постоянством по громкости, уровню шума и продолжительности. Данные условия являются необходимыми для эффективного распознавания команд нейросетью, для реализации этих требований необходимо ввести определенные ограничения на расстояние между микрофоном и диктором. Датасет команд необходимо записывать с одного и того же устройства, при этом можно использовать как выносной микрофон, так и микрофон, встроенный в само устройство.

Передача необработанных данных. Для передачи звуковых данных между программными модулями было решено использовать файлы формата *.wav.

Для записи звука с микрофона использовался разработанный bash-скрипт, формирующий 2-секундный монофонический файл с частотой дискретизации 16000 Гц и разрядностью 16 бит. Формат 2 секунды используется как оптимальный для команд, используемых при управлении умным домом и рядом подобных устройств, однако под другие задачи может быть расширен без существенной доработки системы.

Обрезка звука, выделение признаков, классификация речевых команд. Для выделения голосовой команды из 2-секундного аудиофайла была разработана программа на языке C++ slice.c, результат работы программы представлен на рисунке 3.

```
paniulaitis@paniulaitis-VirtualBox:~/Рабочий стол/sound$ sudo ./slice
Who many data. Сколько точек отсчета = 32000
Max = 17075; imax=13627
Min = -20009 ; imin=13712
Begin nn=59 End nn=116
Begin toch0=9360 End toch1=18880
```

Рисунок 3 – Работа программы Slice

Работу программы можно описать следующим образом:

- определяется максимальная и минимальная амплитуда осциллограммы;
- выполняется нормализация амплитуд;
- осциллограмма разбивается на ряд участков;
- для каждого полученного участка определяется среднее положительное значение амплитуды;
- осуществляется «прогон» участков осциллограммы слева и справа, при этом осуществляется вычисление среднего значения положительной амплитуды; если полученное значение больше заданной величины (разница составляет 5 % из опыта учета внешних шумов), предполагается, что достигнуты начало и конец слова;
- запись выделенного слова в выходной файл.

При выделении признаков слов используется спектральный анализ сигнала [4]. В данном случае для решения задачи распознавания слова находится массив чисел, который однозначно определяет данное слово. Делается это следующим образом. Слово делится на 40 интервалов, при этом длина интервала находится в пределах 15...23 мс (при использовании другого формата,

отличного от 2-секундного, необходимо использовать другое число интервалов), к каждому интервалу применяется дискретное преобразование Фурье.

Предполагается, что для описания слова в каждом из сорока интервалов достаточно вычислить значения восьми векторов, каждый из которых задается двумя значениями: частота и амплитуда. Таким образом, слово однозначно описывается массивом из 640 чисел. Доказательство данного предположения выполнялось экспериментально, для чего из полученной спектрограммы функциями синуса по восьми амплитудам и частотам осуществлялось восстановление осциллограммы слова – команды.

Результатом работы программы является формирование и запись выходного *.wav файла. При этом выполняется формирование описанного выше массива, определяющего произнесенное слово и запись его в текстовый файл.

Для классификации был использован многослойный перцептрон [6, 7] с возможностью конфигурации любого количества слоев с заданной шириной. Ниже представлен пример конфигурации:

```
numInNeurons = 640; // входной слой, ширина
numOutNeurons = 8; // выходной слой, ширина
nlC = 4; // число слоёв, увеличенное на 1
layList = (nnLay*)malloc((nlC) * sizeof(nnLay));
inputs = (float*)malloc((numInNeurons) * sizeof(float));
targets = (float*)malloc((numOutNeurons) * sizeof(float));
layList[0].setIOwide(640, 100); // установка ширины
//INPUTS/OUTPUTS для каждого слоя

layList[1].setIOwide(100, 100);
layList[2].setIOwide(100, 100);
layList[3].setIO(100, 8); // выходной слой
```

Следует обратить внимание на то, что ширина входа текущего слоя соответствует ширине выхода предыдущего [7]. Исключением является входной слой. Основные алгоритмы нейросети реализованы на языке С, к основным функциям можно отнести следующие:

- функции, используемые для обновления матрицы весов нейронной сети, в том числе установку коэффициентов первого и последнего слоев;
- функции подсчета ошибки (рис. 4), используемые в алгоритме обратного распространения ошибки [10]; в соответствии с данным алгоритмом вычисляется градиент, используемый при обновлении весов многослойного перцептрона, при этом распространение сигнала ошибки осуществляется от выходов сети к ее входам [8];
- функция загрузки данных из подготовленного заранее датасета;
- функция обучения нейронной сети.

```
void calcOutError(float* targets)
{
    errors = (float*)malloc((out) * sizeof(float));
    for (int ou = 0; ou < out; ou++)
    {
        errors[ou] = (targets[ou] - hidden[ou]) * sigmoidasDerivate(hidden[ou]);
    }
};

void calcHidError(float* targets, float** outWeights, int inS, int outS)
{
    errors = (float*)malloc((inS) * sizeof(float));
    for (int hid = 0; hid < inS; hid++)
    {
        errors[hid] = 0.0;
        for (int ou = 0; ou < outS; ou++)
        {
            errors[hid] += targets[ou] * outWeights[hid][ou];
        }
        errors[hid] *= sigmoidasDerivate(hidden[hid]);
    }
};
```

Рисунок 4 – Функции подсчета ошибок

Обученная нейронная сеть сохраняется в бинарный файл для дальнейшего использования. Исходя из полученных результатов тестирования, удалось достичь достоверности от 92 до 99 %, это видно на рисунке 5. Можно утверждать, что модуль распознавания не только не уступает библиотеке FANN, но и превосходит ее по скорости, точности и требованиям к ресурсам, хотя и уступает ей в универсальности. Объем занимаемой программой памяти на ESP8266EX 12F составляет не более 500Кбайт, оставшаяся память около 3Мбайт будет доступна для записи звука, а также нейронной сети, занимающей около 1,5 Мбайт.

```
Need training? y/n: y
Dataset uploaded
1% 2min 2% 2min 3% 2min 4% 2min 5% 2min 6% 2min 7% 2min 8% 2min 9% 2min 10% 2min 11% 2min 12% 2min 13% 2min 14% 2min 15%
2min 16% 1min 17% 1min 18% 1min 19% 1min 20% 1min 21% 1min 22% 1min 23% 1min 24% 1min 25% 1min 26% 1min 27% 1min 28% 1m
in 29% 1min 30% 1min 31% 1min 32% 1min 33% 1min 34% 1min 35% 1min 36% 1min 37% 1min 38% 1min 39% 1min 40% 1min 41% 1min
42% 1min 43% 1min 44% 1min 45% 1min 46% 1min 47% 1min 48% 1min 49% 1min 50% 1min 51% 1min 52% 1min 53% 1min 54% 1min 55%
1min 56% 1min 57% 1min 58% 1min 59% 0min 60% 0min 61% 0min 62% 0min 63% 0min 64% 0min 65% 0min 66% 0min 67% 0min 68% 0m
in 69% 0min 70% 0min 71% 0min 72% 0min 73% 0min 74% 0min 75% 0min 76% 0min 77% 0min 78% 0min 79% 0min 80% 0min 81% 0min
82% 0min 83% 0min 84% 0min 85% 0min 86% 0min 87% 0min 88% 0min 89% 0min 90% 0min 91% 0min 92% 0min 93% 0min 94% 0min 95%
0min 96% 0min 97% 0min 98% 0min 99% 0min 100% 0min
Result

Word 0 0: 8.36774e-08 0.00183493
Output neurons: 0.00386437 0.971578
0.966787 Word 3 2: 2.85415e-06
6.09064e-09 Output neurons: 0.00986605
0.0127845 9.99211e-08 Word 6 1:
9.99774e-10 4.93961e-12 Output neurons:
0.000216101 3.27975e-10 0.0111734
6.08018e-22 0.998812 1.17924e-12
0.0127773 1.00786e-20 1.84868e-09
5.63789e-08 4.20962e-28 0.00236017
Word 1 0: 0.00794035 1.30789e-13
Output neurons: 0.00217051 3.32942e-30
4.03863e-05 Word 4 0: 0.975585
0.971708 Output neurons: 1.63268e-08
0.00246342 0.00640816 Word 7 0:
1.84714e-07 0.00387898 Output neurons:
0.00643582 0.000128265 6.68897e-05
0.0581927 2.93314e-11 0.00101571
4.27147e-06 0.997418 0.0111276
7.7431e-05 2.58178e-09 1.2551e-05
Word 2 0: 0.000501688 1.05663e-05
Output neurons: 5.10765e-08 0.00254379
0.0011973 Word 5 0: 1.87386e-08
0.000650505 Output neurons: 0.963827
0.926546 0.000234661 Successfully
2.22429e-07 0.023956 completed
5.66274e-07 0.000440644
4.10054e-14 1.64435e-06
```

Рисунок 5 – Результаты тестирования нейронной сети

Ближайшими аналогами данной работы являются:

- библиотека uSpeech [15];
- Elechouse Voice Recognition Module v3.1: модуль распознавания голоса [12];
- Google Speech API [13];
- TensorFlow Lite Micro – micro_speech [14].

Библиотека uSpeech предоставляет интерфейс для распознавания голоса с помощью Arduino. С ее помощью можно распознавать до 10 голосовых команд. Вероятность распознавания 30–40 %, если на основе фонов, то до 80 %. Библиотека не требует обучения, достаточно интенсивно нагружает контроллер.

К плюсам данной библиотеки можно отнести невысокие требования к ресурсам микроконтроллера, высокую скорость распознавания. К минусам – малый объем базы (всего 10 слов), крайне низкая точность распознавания, низкая устойчивость к шумам и расположению микрофона.

Elechouse Voice Recognition Module v3.1 представляет собой очень компактный и крайне простой в использовании модуль, предназначенный для распознавания речи.

Он может поддерживать до восьмидесяти голосовых команд. При этом одновременно может распознаваться до семи команд. В качестве команды может быть использован практически любой звук, для этого модуль надо «обучить» реагировать на данные звуки. Устройством можно управлять через последовательный интерфейс, при этом реализуется полный набор функций, также через General Input Pins (входные контакты общего назначения), при этом поддерживается только часть функций. Любые семь голосовых команд могут быть импортированы в модуль распознавания из библиотеки, где они хранятся одной большой группой.

К плюсам системы можно отнести высокую заявленную точность распознавания, низкую потребляемую мощность. К минусам – невысокую точность распознавания в реальных условиях, значительные габариты.

Google Speech API предоставляет разработчикам возможность конвертировать аудио в текст, используя при этом мощные модели нейронной сети, распознает более 80 языков. Представляет собой комплекс речевых технологий, который включает распознавание и синтез речи. На данный момент Google Speech является одним из самых совершенных сервисов распознавания с высочайшей точностью даже при сильных шумах. К минусам можно отнести отсутствие конфиденциальности (голосовой запрос отправляется на сервер для обработки), необходимость наличия доступа к интернету. Стоит отметить, что Яндекс имеет собственную систему распознавания речи – Yandex SpeechKit.

TensorFlow Lite Micro – нейросетевая библиотека для микроконтроллеров, а `micro_speech` – модуль распознавания, работающий с библиотекой. Существенным отличием от системы, предлагаемой в данной работе, является невозможность обучения на микроконтроллере, требуется подключение к компьютеру для обучения нейросети. При этом точность, скорость распознавания, объем занимаемой памяти практически аналогичны.

Заключение. В работе представлена система распознавания речевых команд, построенная на базе нейросети. Данная система может быть использована для построения человеко-машинного интерфейса с целью управления различными устройствами, при этом в качестве основы данной системы может быть использован микроконтроллер с достаточно невысокими вычислительными характеристиками.

Представленный в данной работе подход решения задачи распознавания голосовых команд может быть использован в системах, управляемых несколькими десятками команд. Разработанное решение можно использовать в различных системах управления голосом на любом языке, используя не только слова, но и любые другие звуки.

Замеченные недостатки:

- качество распознавания зависит от тембра голоса диктора, темпа его речи, типа микрофона и даже расположения диктора относительно микрофона; решить эти проблемы можно путем создания достаточно большой базы данных слов, произнесенных различными дикторами с использованием разных микрофонов и при различных расположениях микрофонов относительно диктора;
- для обеспечения надежного распознавания слов необходимо обеспечить отсутствие посторонних звуков в процессе произношения слова; сторонние шумы в основном влияют на выделение слова из записанного wav-файла; при этом можно предположить, что при наличии правильного выделения слова на фоне шумов, нейронная сеть сможет выполнить распознавание корректно для различных вариантов слов с шумами;
- при наличии достаточно большого количества слов необходим достаточно громоздкий массив данных, используемый для обучения нейронной сети; можно сделать предположение, что данный факт может стать основным ограничением использования метода распознавания по словам.

Несмотря на приведенные недостатки, можно утверждать, что удалось создать голосовой человеко-машинный интерфейс, использующий нейросетевые технологии и работающий на низкопроизводительном микроконтроллере (в реализованной системе – ESP8266EX 12F). Разработанная система в дальнейшем может применяться в различных проектах, использующих голосовое управление [1, 2].

Одним из преимуществ разработанной системы над уже существующими программными продуктами является простая поддержка любого языка. Ведь системы автоматического распознавания речи реализованы для небольшого числа широко распространенных разговорных языков, таких как английский, испанский, французский, китайский и некоторые другие языки. В то время как в мире различных языков насчитывается более 7000 [5]. К преимуществам разработанной системы также можно отнести невысокие требования к ресурсам вычислительной системы, высокое быстродействие, относительная простота использования и возможность обучения на самом микроконтроллере без использования ПК.

Библиографический список

1. Алимуратов А. К. Роль маркетинга в продвижении на рынок инновационных идей на примере системы голосового управления для инвалидов / А. К. Алимуратов, М. А. Марченко, О. А. Никитина // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2013. – № 4 (8). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-marketinga-v-prodvizhenii-na-rynok-innovatsionnyh-idey-na-primere-sistemy-golosovogo-upravleniya-dlya-invalidov>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 27.05.2020).
2. Ахметов К. Взаимодействие человека и компьютера: Тенденции, исследования, будущее / К. Ахметов // Форсайт. – 2013. – № 2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimodeystvie-cheloveka-i-kompyutera-tendentsii-issledovaniya-budushee>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 27.05.2020).

3. Горелова А. В. Алгоритм обратного распространения ошибки / А. В. Горелова, Т. В. Любимова // Наука и современность. – 2015. – № 38. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-obratnogo-rasprostraneniya-oshibki>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 27.05.2020).
4. Зайцев Д. Г. Спектральный анализ цифровых сигналов / Д. Г. Зайцев // Вестник ОГУ. – 2006. – № 13 (63). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/spektralnyy-analiz-tsifrovyyh-signalov>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 27.05.2020).
5. Карпов А. А. Речевые технологии для малоресурсных языков мира / А. А. Карпов, В. О. Верходанова // Вопросы языкознания. – 2015. – № 2. – С. 117–135.
6. Тампель И. Б. Автоматическое распознавание речи – основные этапы за 50 лет / И. Б. Тампель // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Т. 15, № 6. – С. 957–968.
7. Татьянкин В. М. Алгоритм формирования оптимальной архитектуры многослойной нейронной сети / В. М. Татьянкин // Новое слово в науке: перспективы развития : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 30 дек. 2014 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. – Чебоксары : ЦНС «Интерактив плюс», 2014. – С. 187–188. – ISBN 978-5-906626-55-4.
8. Татьянкин В. М. Модифицированный алгоритм обратного распространения ошибки / В. М. Татьянкин // Приоритетные направления развития науки и образования : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 4 дек. 2014 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. – Чебоксары : ЦНС «Интерактив плюс», 2014. – № 3 (3). – С. 197–198. – ISSN 2411-9652.
9. Терехов В. И. Методика подготовки данных для обработки импульсными нейронными сетями / Терехов В. И., Жуков Р. В. // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2017. – № 2. – С. 31–36.
10. Юнусова Л. Р. Классификация искусственных нейронных сетей / Л. Р. Юнусова, А. Р. Магсумова // Проблемы науки. – 2019. – № 7 (43). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-iskusstvennyh-neuronnyh-setey-1>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 27.05.2020).
11. Fast Artificial Neural Network Library // Описание библиотеки FANN. – Режим доступа: <http://leenissen.dk/fann/wp/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 06.06.2020).
12. Speak Recognition, Voice Recognition Module V3 // elechouse. – Режим доступа: <http://www.elechouse.com/elechouse/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 06.06.2020).
13. Speech-to-Text // Google Cloud. – Режим доступа: <https://cloud.google.com/speech-to-text/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 06.06.2020).
14. TensorFlow Lite for Microcontrollers // TensorFlow. – Режим доступа: <https://www.tensorflow.org/lite/microcontrollers>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 06.06.2020).
15. uSpeech // github. – Режим доступа: <https://github.com/arjo129/uSpeech>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 06.06.2020).

References

1. Alimuradov A. K., Marchenko M. A., Nikitina O. A. Rol marketinga v prodvizhenii na rynek innovatannykh idey na primere sistemy golosovogo upravleniya dlya invalidov [The role of marketing in promoting innovative ideas to the market using the example of a voice control system for disabled]. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* [Models, Systems, Networks in Economics, Technology, Nature and Society], 2013, no. 4 (8).
2. Akhmetov K. Vzaimodeystvie cheloveka i kompyutera: Tendentsii, issledovaniya, budushchee [Human-Computer Interaction: Trends, Research, Future]. *Forsayt* [Foresight], 2013, no. 2.
3. Gorelova A. V., Lyubimova T. V. Algoritm obratnogo rasprostraneniya oshibki [Backpropagation algorithm]. *Nauka i sovremennost* [Science and Modernity], 2015, no. 38.
4. Zaytsev D. G. Spektralnyy analiz tsifrovyykh signalov [Spectral analysis of digital signals]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarsvennogo universiteta* [OSU Bulletin], 2006, no. 13 (63).
5. Karpov A. A., Verkhodanova V. O. Rechevye tekhnologii dlya maloresursnykh yazykov mira [Speech technologies for low-resource languages of the world]. *Voprosy yazykoznavaniya* [Linguistic Issues], 2015, no. 2, pp. 117–135.
6. Tampil I. B. Avtomaticheskoe raspoznvanie rechi – osnovnye etapy za 50 let [Automatic speech recognition – milestones in 50 years]. *Nauchno-tehnicheskii Vestnik Informatsionnykh Tekhnologiy, Mekhaniki i Optiki* [Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics], 2015, vol. 15, no. 6, pp. 957–968.
7. Tatyankin V. M. Algoritm formirovaniya optimalnoy arkhitektury mnogoslnoy neyronnoy seti [Algorithm for the formation of the optimal architecture of a multilayer neural network]. *Novoe slovo v nauke: perspektivy razvitiya : materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [A new word in science: development prospects : Proceedings of the II International Scientific-Practical Conference (Cheboksary, December 30, 2014)]. Cheboksary, CNS «Interaktiv plus» Publ., 2014, pp.187–188. ISBN 978-5-906626-55-4.
8. Tatyankin V. M. Modifitsirovannyi algorit obratnogo rasprostraneniya oshibki [Modified error backpropagation algorithm]. *Prioritetnye napravleniya razvitiya nauki i obrazovaniya : materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Priority directions of development of science and education: Proceedings of the III International Scientific-Practical Conference (Cheboksary, December 4, 2014)]. Cheboksary, CNS «Interaktiv plus» Publ., 2014, no. 3 (3), pp. 197–198. ISSN 2411-9652.
9. Terekhov V. I., Zhukov R. V. Metodika podgotovki dannykh dlya obrabotki impulsnymi neyronnymi setyami [Method for preparing data for processing by impulse neural networks]. *Neurokompyutery: razrabotka, primeneniye* [Neurocomputers: Development, Application], 2017, no. 2, pp. 31–36.
10. Yunusova L. R., Magsumova A. R. Klassifikatsiya iskusstvennykh neyronnykh setey [Classification of artificial neural networks]. *Problemy nauki* [Science Problems], 2019, no.7 (43).

11. *Fast Artificial Neural Network Library*. Available at: <http://leenissen.dk/fann/wp/> (accessed 06.06 2020).
12. *Speak Recognition, Voice Recognition Module V3*. Available at: <http://www.elechouse.com/elechouse/> (accessed 06.06.2020).
13. *Speech-to-Text*. Available at: <https://cloud.google.com/speech-to-text/> (accessed 06.06 2020).
14. TensorFlow Lite for Microcontrollers. Available at: <https://www.tensorflow.org/lite/microcontrollers> (accessed 06.06 2020).
15. uSpeech. Available at: <https://github.com/arjo129/uSpeech> (accessed 06.06 2020).

УДК 004.4

ЭЛЕКТРОННО-ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА «ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ КЛЕТОЧНОЙ МЕМБРАНЫ С РАЗЛИЧНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ»

Статья поступила в редакцию 26.03.2020, в окончательной варианте – 16.05.2020.

Иванова Елена Евгеньевна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
магистрант, e-mail: ivanovae@list.ru

Жарких Леся Ивановна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры информационных технологий,
e-mail: lesy_g@mail.ru

Обоснована необходимость ознакомления студентов и исследователей с фундаментальными понятиями о клеточной мембране и воздействии на нее других веществ на уровне взаимодействия атомов различных молекул. Указана необходимая функциональность электронно-обучающей системы. Для реализации этой функциональности предложено программное средство в виде веб-приложения для обучения студентов и исследователей в области межмолекулярных взаимодействий, обмена информацией между ними. Приведена архитектура разработанного программного средства. Рассмотрены функции отдельных блоков программного средства: организация заполнения электронного пособия, раздела «Научные статьи» и др., кратко описан модуль интерактивного общения пользователей электронно-обучающих систем. Модули программы «Конструктор тестов» – модуль для создания и проведения тестирования, а также «Управление заказами» – модуль для распространения преподавателями, исследователями и студентами своих разработок: программных продуктов, учебных пособий, методических материалов и пр. – описаны в работах авторов, опубликованных в материалах международных конференций. Описываемое программное средство разработано в интегрированной среде IDE Neatbeans. База данных спроектирована и реализована в СУБД PostgreSQL. Охарактеризован процесс проектирования, создания и наполнения базы данных информацией. Программный код написан на объектно-ориентированном языке программирования Java. Интерфейс организован на сервлетах языка Java. Рассмотрен алгоритм работы электронно-обучающей системы.

Ключевые слова: информационные технологии, веб-приложение, межмолекулярное взаимодействие, электронно-обучающая система, электронный учебник, база знаний, система управления базой знаний, компьютерное тестирование

ELECTRON-LEARNING SYSTEM “RESEARCH OF PROCESSES OF INTERACTION OF CELLULAR MEMBRANE COMPONENTS WITH VARIOUS SUBSTANCES”

The article was received by editorial board on 26.03.2019, in the final version – 16.05.2020.

Ivanova Elena E., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,
master student, e-mail: ivanovae@list.ru

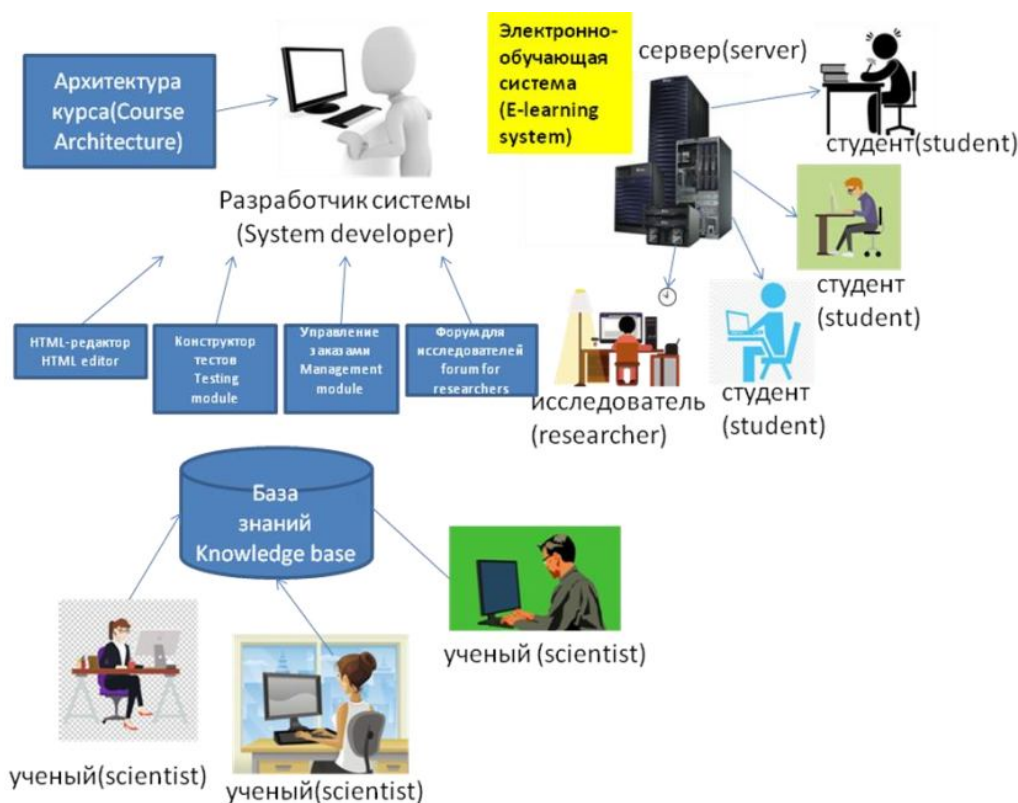
Zharkikh Lesya I., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: lesy_g@mail.ru

The necessity to acquaint the students and other researchers with the fundamental concepts of cell membrane and exposure to other substances at the level of interaction of atoms of different molecules. Specify the required functionality of the electronic teaching system. To implement this functionality the proposed software tool in the form of a web application for the training of students and researchers in the field of intermolecular interactions, the exchange of information between them. The architecture developed by the software tool. The functions of the individual blocks PS: the organization filling in the electronic Handbook, section "Scientific articles", etc., are briefly described module, the interactive

communication of users of the electronic teaching systems. Program modules "test maker" – module for the creation and testing, and "order Management" module is designed for distribution to teachers, researchers and students of its development: software products, teaching AIDS, methodical materials, etc. described in the works of the authors published in "the proceedings of international conferences. Describe the software tool developed in the IDE, the IDE Neatbeans, the database is designed and implemented in Postgresql DBMS. Described the process of design, build and populate the database with information. Program code is written in object-oriented programming language Java. The interface is organized on the servlets of Java language. The algorithm of electronic-learning system is described.

Keywords: information technology, web application, intermolecular interaction, e-learning system, e-textbook, knowledge base, knowledge base management system, computer testing

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Образование является одной из важнейших областей деятельности современного общества. Это связано со стремительно развивающимися технологиями, имеющими применение в повседневной жизни. Новые образовательные технологии становятся особенно актуальными в ситуациях карантина высших образовательных учреждений. Учитывая растущую динамичность происходящих в обществе процессов, общепринятые подходы в образовании в некоторой мере исчерпали себя – специалисты всех уровней должны повышать свою квалификацию и осваивать новое в гораздо более сжатые сроки. Электронно-обучающие системы (ЭОС) позволяют осуществлять профессиональную подготовку специалистов, активно обучаться и осуществлять связи специалистов и заинтересованных лиц, а также обеспечивают получение информации о новых достижениях науки. Разработкам в области создания, улучшения и специфики использования ЭОС посвящены работы в различных областях наук [7, 18, 20, 21].

Одним из них являются исследования на уровне наноструктур. Они интенсивно развиваются, а их результаты постоянно пополняются новыми достижениями и изобретениями. Об этом свидетельствуют последние присуждения нобелевских премий [5] и накопленный опыт, изложенный в публикациях [1–3, 8–10, 12, 15–17, 19, 23, 25–28]. В Федеральном законе об образовании в РФ в статье 16 «Реализация образовательных программ с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий» рекомендовано «при реализации образовательных программ с применением исключительно электронного обучения... создавать условия для функционирования электронной информационно-образовательной среды, включающей в себя электронные информационные ресурсы, электронные образовательные ресурсы, совокупность информационных технологий, телекоммуникационных технологий, соответствующих технологических средств и обеспечивающей освоение обучающимися образовательных программ в полном объеме

независимо от места нахождения обучающихся...» [24]. Для успешного накопления и поддержки получения новых знаний в области исследования процессов взаимодействия компонентов клеточной мембраны с различными веществами становится актуальным создание ЭОС.

При этом программные средства (ПС), обеспечивающие комплексное изучение воздействия компонентов клеточной мембраны на различные вещества, должны позволять результативно проводить научные исследования в данной предметной области, обеспечивать получение качественной и современной информации с использованием структурированного представления материала. Однако подходящего ПС на сегодняшний день не существует.

Поэтому целью данной работы явилось создание ЭОС, агрегирующей накопленные знания и обеспечивающей унифицированное структурирование материала в области межмолекулярных взаимодействий. В результате этого становится возможным изучать, накапливать, анализировать и наглядно отображать процессы воздействия веществ на компоненты клеточной мембраны. Кроме этого, ЭОС должна обеспечивать интерактивное взаимодействие между исследователями и доступ к документации о программных продуктах других разработчиков в этой области (или обзор такой документации).

Общая характеристика назначения, архитектуры и порядка разработки программного средства. ЭОС разрабатывается с целью повышения эффективности изучения математического моделирования межмолекулярных взаимодействий компонентов клеточной мембраны с различными веществами. Таким образом, созданная ЭОС должна представлять собой совокупность информационных источников, программных решений и практических применений [9]. На рисунке 1 показана схема ЭОС нулевого уровня (контекстная диаграмма).

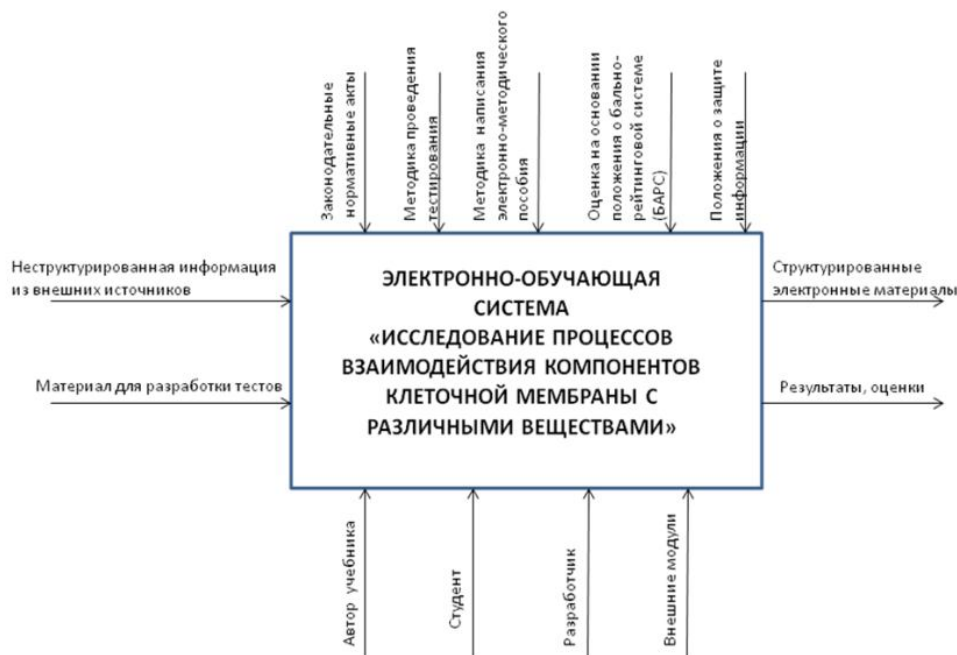


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма в нотации IDEF0 ЭОС «Исследование процессов взаимодействия компонентов клеточной мембраны с различными веществами»

Архитектура разрабатываемой ЭОС (рис. 2) опирается на три уровня управления базой знаний (БЗ) [22]:

- уровень интерфейсов – включает несколько уровней интерфейсов пользователя;
- логический уровень – осуществляет редактирование: добавление, удаление, обновление базы знаний;
- физический уровень – выполняет управление структурами данных для хранения информации в базе знаний и другой информации.

В работе [22] разъясняются технические различия между понятиями «база знаний» (БЗ) и «база данных» (БД).

Уровень интерфейсов разрабатываемой ЭОС включает в себя различные пользовательские службы БЗ. Здесь осуществляется взаимодействие пользователей разных групп с БД и БЗ посредством программных модулей, включающих операции с БЗ [4]. Также уровень интерфейсов имеет функции получения, обработки и представления информации из БД и БЗ.

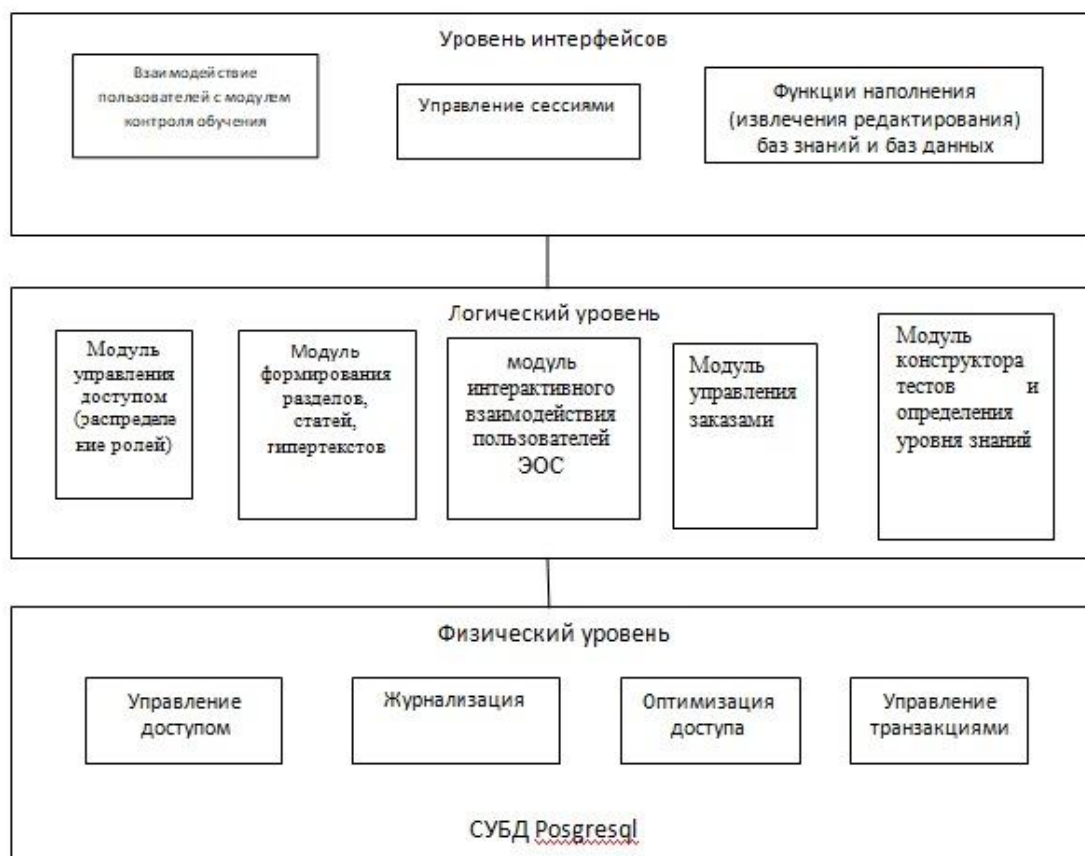


Рисунок 2 – Общая архитектура системы управления базой знаний ЭОС

Логический уровень поддерживает правила, ограничения, операции, задания для физического уровня. Его модули реализуют операции для физического уровня, состоящие из набора программных модулей:

- управления доступом (распределение ролей);
- формирования разделов, статей, гипертекстов и ссылок;
- интерактивного взаимодействия пользователей ЭОС;
- управления заказами;
- конструктора тестов и определения уровня знаний.

Физический уровень осуществляет регулирование структурами данных, хранящимися на сервере, политикой временного хранения данных.

Структура электронно-обучающей системы. В качестве инструмента для изучения методов математического моделирования межмолекулярных взаимодействий на примере процессов взаимодействия компонентов клеточной мембраны с различными веществами реализовано веб-приложение.

При описании ЭОС используются следующие наименования объектов.

Пользователи – различные группы пользователей. Каждая из групп пользователей имеет определенные права доступа к функционалу программы. Работа по наполнению системы необходимыми данными проводится ведущими специалистами, занимающимися исследованиями в данной области. Таким образом, система имеет возможность доработки по мере накопления знаний по данной проблеме.

Подсистема безопасности – система проверки надежности паролей авторизованных и авторизуемых пользователей.

Электронное пособие и другие вкладки – разработанное дерево каталогов по принципу файловой системы [26] для заполнения электронного пособия автором учебника со встроенным html-редактором CKEditor [29].

Базы данных – БД, где хранятся данные настроек, учетные записи, права, роли, форум, дерево наименования разделов.

Конструктор тестов – внешний модуль, имеющий свою БД.

Заполненный контент (содержание) электронно-обучающей системы – его составляют БЗ области межмолекулярных взаимодействий.

Электронно-обучающая система – система, позволяющая добавлять, редактировать и удалять данные в режиме непосредственного редактирования. Она имеет в своем составе также модуль интерактивного взаимодействия между исследователями (рис. 2).

На рисунке 3 представлена архитектура разработанной ЭОС.

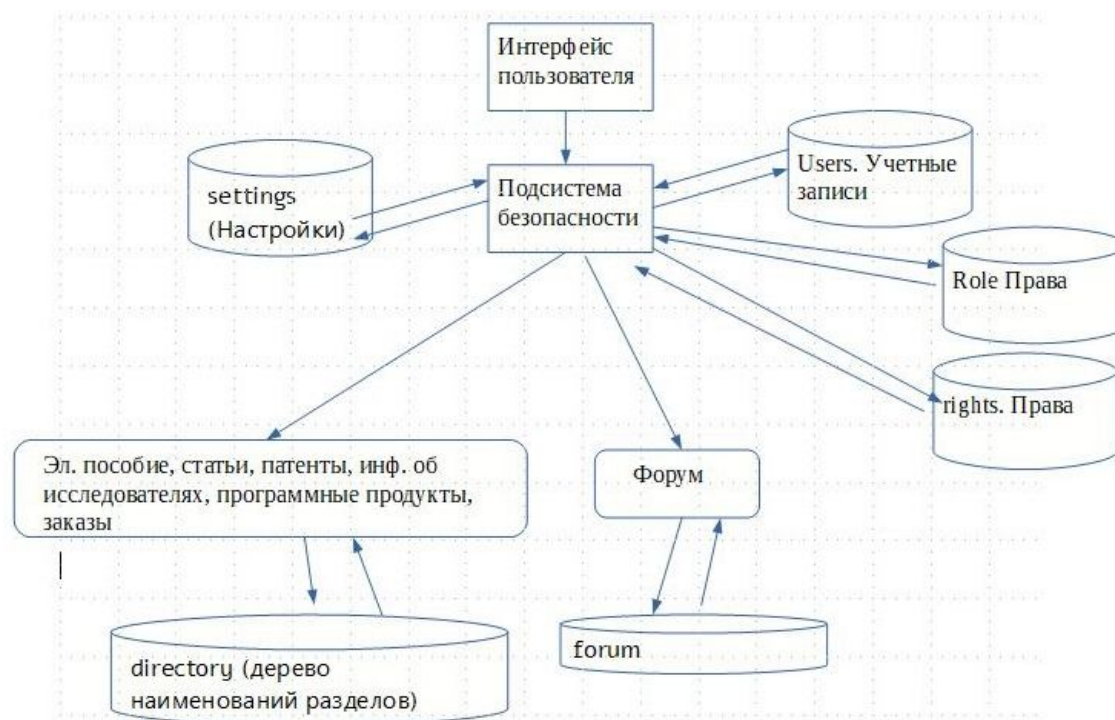


Рисунок 3 – Архитектура электронно-обучающей системы

В связи с этим ЭОС создается и разрабатывается с учетом необходимости форматирования и объединения разного рода форматов документов. Разрабатываемая ЭОС построена на блочном типе создания структуры. Поэтому имеется возможность редактировать, добавлять, удалять каждый из блоков по отдельности.

Алгоритм работы электронно-обучающей системы и ее интерфейс. Программное приложение размещается на удаленном сервере. Каждому пользователю, включая администратора системы, присваивается индивидуальная учетная запись.

В соответствии с требованиями к системе для реализации приложения была выбрана двухзвенная клиент-серверная архитектура. Клиентская часть (тонкий слой) – браузер. Серверная часть – удаленный сервер. Сервер работает с базами данных, и он же формирует запрос, который включает в себя адрес сервера, где располагается система, и параметры запроса.

Сервер считывает данные, которые передал браузер, обрабатывает, получает данные из БД с помощью своих приложений (сервлетов), формирует HTML-страницу и передает в браузер. Сервлет представляет собой специальный тип классов Java, который выполняется на веб-сервере и который обрабатывает запросы и возвращает результат обработки.

Рабочая программа выполнена на языке программирования Java [6] в среде разработки Netbeans [13].

Основными функциями web-приложения ЭОС являются следующие:

- функции администратора системы;
- подсистема безопасности;
- электронное учебное пособие, статьи, патенты, информация об исследователях;
- модуль интерактивного взаимодействия пользователей ЭОС;
- модуль управления заказами;
- модуль конструктора тестов и определения уровня знаний.

С учетом общих требований к программному продукту была составлена блок-схема алгоритма работы программы (рис. 4).



- если пользователь зарегистрирован, то он авторизуется в системе, вводя «логин и пароль». Иначе он проходит регистрацию в системе;

- пройдя авторизацию, пользователь переходит на главное меню программы.
- В зависимости от роли и прав пользователя ему доступны те или иные вкладки и функции:
- администратор системы должен иметь возможность редактировать список пользователей, вводить новых пользователей, распределять права доступа пользователям, удалять пользователей, просматривать статистику (журналы посещения), должен иметь возможность просмотреть профиль, отчеты, результаты теста;
 - пользователь с правами студента имеет возможность просматривать электронный учебник, уже проходить тестирование;

• пользователь с правами преподавателя должен иметь возможность добавлять каталоги (разделы), добавлять описание разделов, создавать любые ссылки на внешние источники информации (например, интернет-сайты и интернет-страницы), на объекты в виде медиа-файлов, хранящихся в базе данных или на интернет-ресурсах, создавать проверочные тесты по различным разделам электронно-обучающей системы.

Пользователи создаются администратором, который присваивает им роли и права. Также пользователь сам может зарегистрироваться при заходе на сайт ЭОС, права и роль «пользователь-исследователь» ему присваиваются автоматически. Незарегистрированный пользователь заходит в систему с правами «гость». В таблице показаны роли, права и вкладки, доступные для лиц с различными правами.

Таблица – Роли, права, доступные вкладки

Роли	Права	Доступные вкладки
Администратор	Администрирование	-
Студент	Только просмотр	Электронное пособие, программные продукты, статьи, патенты, контакты, информация об исследователях
Преподаватель (ученый)	Редактирование и просмотр	Электронное пособие, программные продукты, статьи, патенты, заказы, форум, информация об исследователях, контакты
Студент – участник редактирования	Редактирование и просмотр	Электронное пособие
Пользователь-исследователь	Просмотр	Электронное пособие, программные продукты, статьи, патенты, форум, информация об исследователях, контакты
Гость без регистрации	Просмотр	Программные продукты, статьи, патенты, форум, информация об исследователях, контакты

Если пользователь имеет право на «редактирование и просмотр», то на главной странице левого фрейма активируются кнопки «редактировать», «добавить», «удалить» в строках соответствующих разделов. В правом фрейме к разделу текста подключается интерактивный html-редактор CKeditor. Он позволяет вводить и редактировать текст с использованием стилей, шрифтов, загрузкой изображений, ссылок и пр.

Модуль интерактивного общения пользователей ЭОС. Отдельно скажем о модуле интерактивного общения пользователей ЭОС. Он применяется при входе на площадку интерактивного взаимодействия пользователей (форум) системы «Математическое моделирование межмолекулярных взаимодействий». Используются три группы пользователей:

- 1) преподаватель, пользователь-исследователь;
- 2) студент, гость;
- 3) студент – участник редактирования.

Первой группе позволено вести диалог: открывать тему (доступна кнопка «написать») и отвечать на сообщения по теме (кнопка «ответить»). Вторая группа может только просматривать написанное. Третьей группе вообще недоступна вкладка «Форум». Просмотр страниц форума осуществляется следующим образом. Извлекается первая страница диалога и выводится в браузер. Переключение между страницами производится кнопками «следующая» и «предыдущая».

При возникновении события «написать» (нажата кнопка «написать») отрывается поле для ввода текста. По нажатию кнопки «отправить» текст помечается как новая тема, сохраняется в базе данных и сопровождается кодом пользователя, датой и временем написания сообщения.

Далее в браузере показывается страница форума. Блок-схема организации модуля интерактивного общения пользователей представлена на рисунке 5. Сортировка страниц осуществляется по убыванию даты и времени написания. Каждое сообщение сопровождается именем пользователя и датой.

Если возникает событие «ответить» (кнопка «ответить» расположена под текстом темы), то появляется поле для ввода текста. По нажатию кнопки «отправить» текст ответа сохраняется в базе с кодом пользователя, признаком темы, датой и временем. При выводе страницы форума ответ располагается под текстом, помеченным как тема, в порядке убывания даты и времени написания ответа.

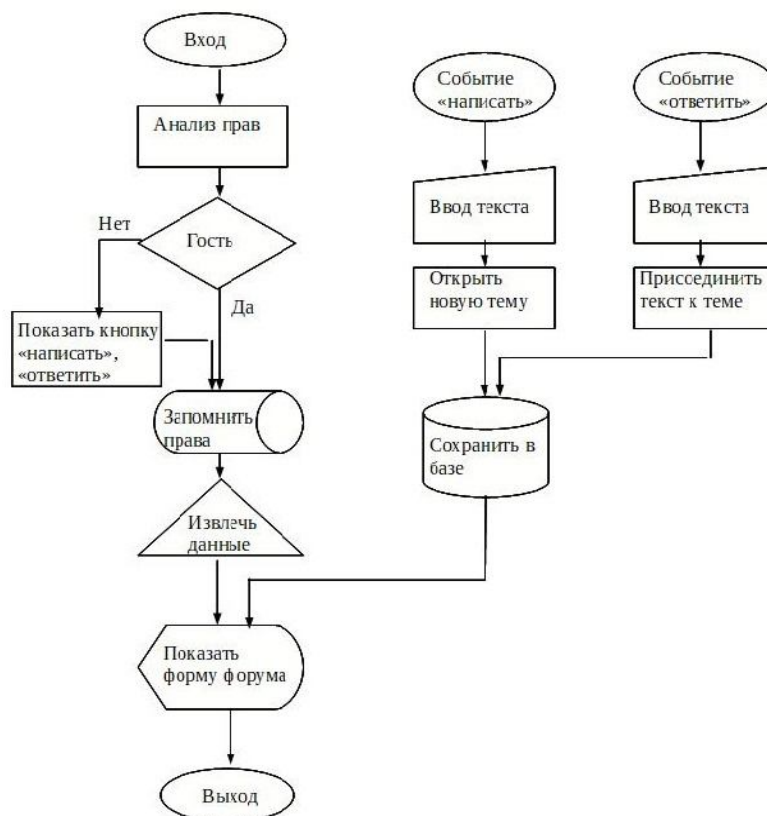


Рисунок 5 – Блок-схема организации модуля интерактивного общения пользователей

Проектирование и создание базы данных. Использование ЭОС «Исследование процессов взаимодействия компонентов клеточной мембраны с различными веществами» в образовательном и исследовательском процессе подразумевает осуществление работы с базами данных.

Базы данных (база электронно-обучающей системы и база конструктора тестов) спроектированы в СУБД Postgresql. Данная СУБД поддерживает одновременную модификацию БД несколькими пользователями с помощью механизма MultiversionConcurrencyControl (MVCC) и является мультиплатформенной [6, 14].

На основании представленного выше описания основных функций системы были построены ER-диаграмма для БД ЭОС, описывающая сущности и связи между ними (рис. 6), ER-диаграмма модуля конструктора тестов (рис. 7).

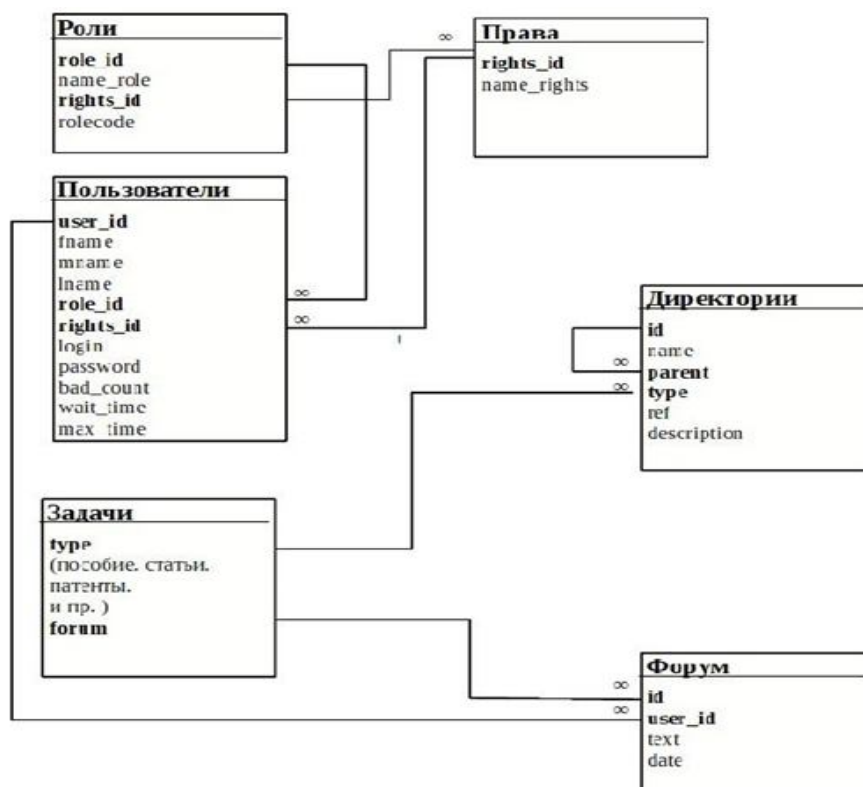


Рисунок 6 – ER-диаграмма базы данных электронно-обучающей системы

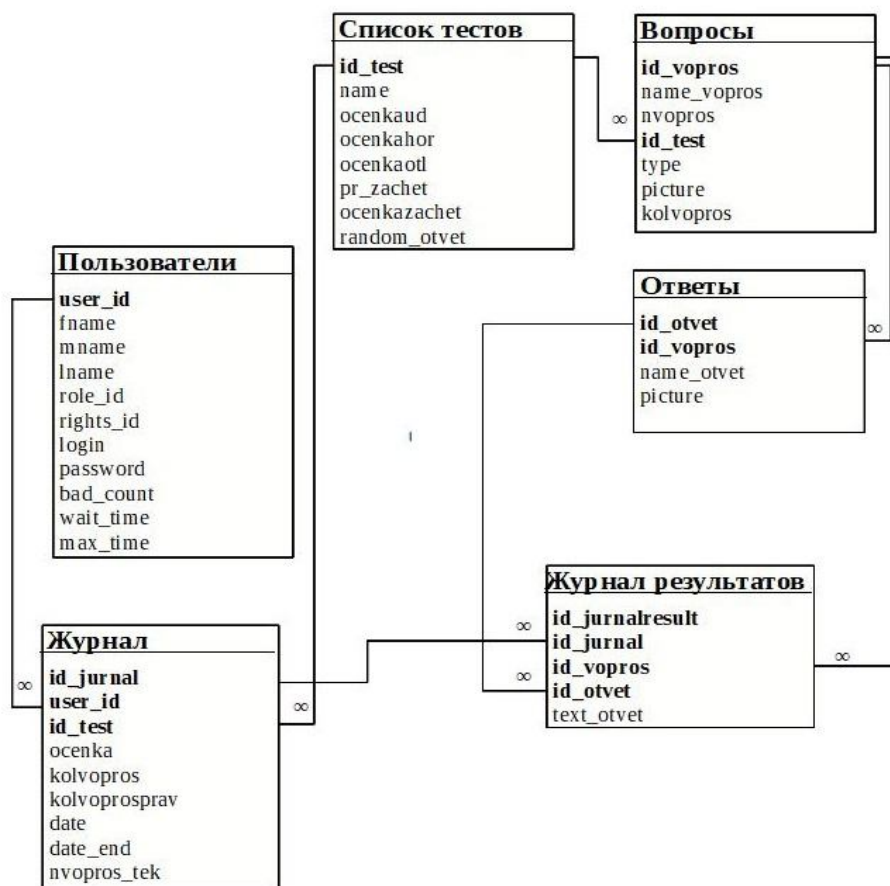


Рисунок 7 – ER-диаграмма базы данных модуля «Конструктор тестов»

Создание и изменение статей и содержания электронного учебника осуществляется с помощью интегрированного в систему визуального редактора CKEditor4 – WYSIWYG. Он позволяет выполнять гибкое форматирование текстов, включающее работу со стилями, списками, ссылками, изображениями и т.д. CKEditor широко распространен, удобен, эффективен (рис. 8).

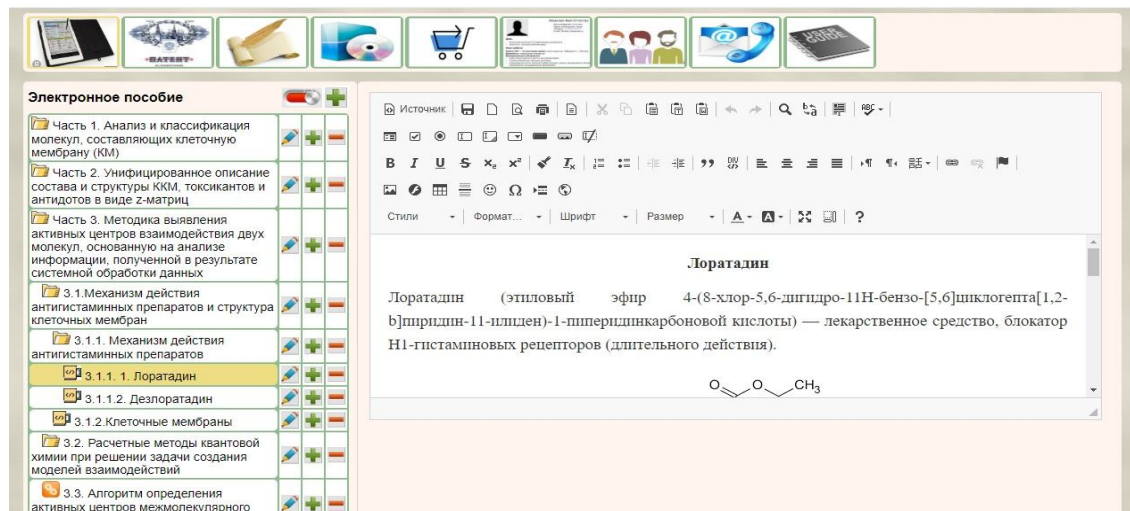


Рисунок 8 – Интерфейс системы в режиме редактирования электронного пособия

Таким образом, реализуется следующее: обработка электронных материалов по данной проблеме; их хранение, в том числе выводы, полученные в результате работы ученых в вышеуказанной области; обучение студентов – с возможностью проводить экзамены, либо использовать «Конструктор тестов» [11] для организации самоконтроля обучающихся.

Выводы. Использование предложенной в работе ЭОС исследователями в области математического моделирования межмолекулярных взаимодействий позволяет проводить профессиональную подготовку специалистов, активно обучаться и осуществлять связи специалистов и заинтересованных лиц, а также обеспечивает получение информации о новых достижениях науки. Также ЭОС особо актуальна в ситуациях карантина высших образовательных учреждений, поскольку она позволяет облегчить общение между исследователями со всего мира в интерактивном режиме, дает возможность демонстрировать возможности программных продуктов, приобретать их через модуль заказов. Материалы в отношении разработки модуля «Управление заказами» для ЭОС «Исследование процессов взаимодействия компонентов клеточной мембраны с различными веществами» предполагается опубликовать в виде отдельной статьи. Студенты химико-биологического направления с помощью созданной ЭОС на занятиях смогут изучать процессы взаимодействия компонентов клеточной мембраны с различными веществами и анализировать их.

Предложенная ЭОС позволяет создавать распределенное сообщество пользователей для ознакомления с фундаментальными понятиями о клеточной мембране и воздействии на нее других веществ на уровне взаимодействия атомов различных молекул, а также предоставляет возможность обучения лицам с ограниченными возможностями психического и физиологического развития.

Библиографический список

1. Алиев С. В. Механизм воздействия монооксида углерода на организм человека. Инновации и перспективы современной науки / С. В. Алиев, В. В. Уранова, Ю. А. Очередко // Естественные науки. – 2018. – С. 99–101.
2. Алыков Н. М. Математическое моделирование этапов поиска антидотов к сероводороду / Н. М. Алыков, Л. И. Жарких // Экологические системы и приборы. – 2008. – № 4. – С. 43–47.
3. Алыков Н. М. Компьютерное структурно-адсорбционное моделирование взаимодействия компонентов клеточных мембран с сероводородом и диоксидом серы / Н. М. Алыков, Л. И. Жарких, Н. В. Золотарева, Ю. Е. Медовикова // Международный журнал прикладных инженерных исследований. – 2015. – Т. 10, № 21. – С. 42731–42736.
4. Базы данных и базы знаний. Классификация и примеры основных СУБД. – Режим доступа: <http://koriolan404.narod.ru/tipis/1.htm>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 16.03.2020).
5. Болдина Е. «Нобель» по медицине вручат трем врачам за открытия в области взаимодействия клеток и кислорода / Е. Болдина, Д. Шахов. – Режим доступа: <https://www.golos-ameriki.ru/a/nobel-prize-medicine/5113971.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.03.2020).

6. Герман О. В Программирование на Java и C# для студентов / О. В. Герман. – Санкт-Петербург : БНУ, 2015. – 512 с.
7. Голенков В. В. Виртуальные кафедры и интеллектуальные обучающие системы / В. В. Голенков, В. В. Емельянов, В. Б. Тарасов // Новости искусственного интеллекта. – 2001. – № 4. – С. 1–19.
8. Гольда С. Ю. Продвижение 3d-технологии печати в области химического образования / С. Ю. Гольда, Н. В. Золотарева // Актуальные проблемы науки, производства и химического образования : сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Астрахань, 2018. – С. 93–97.
9. Жарких Л. И. Алгоритм определения активных центров межмолекулярного взаимодействия / Л. И. Жарких, И. М. Ажмухамедов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 1 (41). – С. 144–151.
10. Жарких Л. И. Квантовая экологическая химия – новая учебная дисциплина для университетов / Л. И. Жарких, Н. М. Алыков, Н. В. Золотарева // Естественные науки. – 2008. – № 4. – С. 13–136.
11. Иванова Е. Е. Разработка программного блока «Конструктор тестов» для электронно-обучающей системы «Исследование процессов взаимодействия компонентов клеточной мембраны с различными веществами» / Е. Е. Иванова, Л. И. Жарких // Современные инновации в науке и технике : материалы 10-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Курск, 15–16 апреля 2020). – Курск : Изд-во Юго-Зап. гос. ун-та, 2020. – С. 128–131.
12. Колояниди К. В. Применение углеродных нанотрубок в качестве катализаторов процесса дегидрирования предельных углеводородов: квантово-химическое моделирование / К. В. Колояниди, Н. В. Золотарева // Актуальные проблемы современного образования. – Астрахань : Астраханское региональное отделение межрегиональной общественной организации «Женщины в науке и образовании», 2018. – Т. 2. – С. 111–116.
13. Монахов В. Язык программирования Java и среда NetBeans / В. Монахов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2008. – С. 640.
14. Пан К. С. Разработка параллельной СУБД на основе последовательной СУБД PostgreSQL с открытым исходным кодом / К. С. Пан, М. Л. Цымблер // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2012. – № 18 (277). – С. 112–120.
15. Попова Г. В. Интерактивный метод обучения «дерево решений» на уроках химии / Г. В. Попова, Н. В. Золотарева // Инновации и перспективы современной науки. Естественные науки. – 2018. – С. 197–199.
16. Рыбина Г. В. Экспертные системы и инструментальные средства для их разработки: некоторые итоги / Г. В. Рыбина // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2013. – Т. 11, № 5. – С. 35–48.
17. Смирнова Ю. А. Алгоритмы поиска активных центров межмолекулярного взаимодействия / Ю. А. Смирнова, Л. И. Жарких // Вестник технологического университета. – 2020. – № 1. – С. 104–111.
18. Стефанюк В. Л. Поведение квазистатистической оболочки в изменяющейся нечеткой среде / В. Л. Стефанюк // КИИ-94. Искусственный интеллект 94 : сборник научных трудов Национальной конференции с международным участием : в 2 т. – Рыбинск, 1994. – Т. 1. – С. 199–203.
19. Тараскин Д. В. Структура программного обеспечения для выявления потенциальных активных центров между двумя молекулами / Д. В. Тараскин, Л. И. Жарких // Вестник технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 12. – С. 117–122.
20. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В. Б. Тарасов // Эдиториал УРСС. – 2002. – 352 с.
21. Трембач В. М. Системы управления базами эволюционирующих знаний для решения задач непрерывного образования : монография / В. М. Трембач. – Москва : МЭСИ, 2013. – 255 с.
22. Трембач В. М. Электронные обучающие системы с использованием интеллектуальных технологий / В. М. Трембач // Открытое образование. – 2013. – № 4. – С. 52–63.
23. Утюбаева Н. В. Моделирование сорбционных процессов на поверхности кремнезема и алюмосиликатов входящих в состав сорбента из отходов буровых работ / Н. В. Утюбаева, Т. В. Алыкова, Н. В. Золотарева // Естественные науки. – 2017. – Вып. 1 (58). – С. 103–111.
24. Федеральный закон РФ «Об образовании в Российской Федерации» № 273-ФЗ от 29.12.2012. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/9ab9b85e5291f25d6986b5301ab79c23f0055ca4/, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.03.2020).
25. Шакирова В. В. Внедрение инновационных технологий при изучении химии в средней школе / В. В. Шакирова, Н. Ю. Андреева, Н. В. Кошкина и др. // Актуальные проблемы химии и образования : сборник материалов IV научно-практической конференции студентов и молодых ученых. – Астрахань : Издательский дом «Астраханский государственный университет», 2018. – С. 128–132.
26. Шауцукова Л. З. Информатика 10–11 / Л. З. Шауцукова. – Москва : Просвещение, 2000. – Режим доступа: <http://www.tomsk.ru/Books/informatica/theory/index.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 09.03.2020).
27. Швец Л. В. Использование индивидуальных образовательных маршрутов и программ в школьном образовании / Л. В. Швец, М. В. Епанчина, А. У. Ержанова, Н. В. Золотарева // Актуальные проблемы науки, производства и химического образования : сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Астрахань, 2018. – С. 194–196.
28. Шиманова О. Д. Молекулярное моделирование, визуализация материалов и 3d-технологии в образовательном процессе / О. Д. Шиманова, Н. В. Золотарева // Актуальные проблемы науки, производства и химического образования : сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Астрахань, 2018. – С. 169–171.

References

1. Aliev S. V., Uranova V. V., Ocheredko Yu. A. Mekhanizm vozdeistviya monooksida ugleroda na organizm cheloveka [The mechanism of action of carbon monoxide on the human body]. *Innovatsii i perspektivy sovremennoy nauki. Estestvennye nauki* [Innovations and prospects of modern science. Natural Sciences], 2018, pp. 99–101.
2. Alykov N. M., Zharkikh L. I. Matematicheskoe modelirovanie etapov poiska antidotov k serovodorodu [Mathematical modelling of the stages of finding antidotes for hydrogen sulfide]. *Ekologicheskie sistemy i pribory* [Ecological Systems and Devices], 2008, no. 4, pp. 43–47.
3. Alykov N. M., Zharkikh L. I., Zolotareva N. V., Medovikova Yu. E., Kompyuternoe strukturno-adsorbtionnoe modelirovanie vzaimodeistviya komponentov kletochnykh membran s serovodorodom i dioksidom sery [Computer structural-adsorption simulation of the interactions components of cell membranes with hydrogen sulfide and sulfur dioxide]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh inzhenernykh issledovaniy* [International Journal of Applied Engineering Research], 2015, vol. 10, no. 21, pp. 42731–42736.
4. *Bazy dannykh i bazy znaniy. Klassifikatsiya i primery osnovnykh SUBD* [Database and knowledge base. Classification and examples of basic DBMS]. Available at: <http://koriolan404.narod.ru/tipis/1.htm> (accessed 16.03.2020).
5. Boldina E., Shakhov D. "Nobel" po meditsine vruchat trem vracham za otkrytiya v oblasti vzaimodeistviya kletok i kisloroda ["Nobel" in medicine will be awarded to three doctors for discoveries in the field of cell-oxygen interaction]. Available at: <https://www.golos-ameriki.ru/a/nobel-prize-medicine/5113971.html> (accessed 01.03.2020).
6. German O. V. *Programmirovaniye na Java i C# dlya studentov* [Programming In Java and C# for students]. Saint Petersburg, BHV Publ., 2015. 512 p.
7. Golenkov V. V., Emelyanov V. V., Tarasov V. B. Virtualnye kafedry i intellektualnye obuchaiushchie sistemy [The Departments of Virtual and intelligent learning systems]. *Novosti iskusstvennogo intellekta* [Artificial intelligence news], 2001, no. 4, pp. 1–19.
8. Golda S. Yu., Zolotareva N. V. Prodvizhenie 3d-tekhnologii pechati v oblasti khimicheskogo obrazovaniya [Promotion of 3d printing technology in the field of chemical education]. *Aktualnye problemy nauki proizvodstva i khimicheskogo obrazovaniya : sbornik materialov IX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Actual problems of science, industry and chemical education : Proceedings of the IX All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation]. Astrakhan, 2018, pp. 93–97.
9. Zharkikh L. I., Izmukhambetov M. I. Algoritm opredeleniya aktivnykh tsentrov mezhmolekulyarnogo vzaimodeystviya [Algorithm for determining the active centers of intermolecular interactions]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i visokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 1 (41), pp. 144–151.
10. Zharkikh L. I., Alykov N. M., Zolotareva N. V. Kvantovaya ekologicheskaya khimiya – novaya uchebnaya distsiplina dlya universitetov [Quantum environmental chemistry is a new discipline for the University]. *Estestvennye nauki* [Natural Sciences], 2008, no. 4, pp. 130–136.
11. Ivanova E. E., Zharkikh L. I. Razrabotka programmnogo bloka Konstruktor testov dlya elektronno-obuchaiushchey sistemy "Issledovanie protsessov vzaimodeystviya komponentov kletochnoy membrany s razlichnymi veshchestvami" [Development of a software unit "test Constructor" for electronic teaching systems "Research of processes of interaction of components of cell membrane with other substances"]. *Sovremennye innovatsii v nauke i tekhnike : materialy X Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Modern innovations in science and technology : Proceedings of the IX All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation] (Kursk, 15–16 April, 2020). Kursk, The South-West State University Publ., 2020, pp. 128–131.
12. Koloyanidi K. V., Zolotareva N. V. Primeneniye uglerodnykh nanotrubok v kachestve katalizatorov protsessov degidirovaniya predelnykh uglevodorodov: kvantovo-khimicheskoe modelirovanie [The use of carbon nanotubes as catalysts in the process of dehydrogenation of paraffin hydrocarbons: a quantum-chemical modeling]. *Aktualnye problemy sovremennoy obrazovaniya* [Actual problems of modern education]. Astrakhan, Astrakhan regional branch of the interregional public organization "Women in science and education", 2018, vol. 2, pp. 111–116.
13. Monakhov V. *Yazyk programmirovaniya Java i sreda NeatBeans* [The Java programming language and environment NeatBeans]. Saint Petersburg, "BKHV-Petersburg" Publ., 2008, p. 640.
14. Pan K. S., Zymbler M. L. Razrabotka parallelnoy SUBD na osnove posledovatelnoy SUBD PostgreSQL s otkrytym iskhodnym kodom [Development of a parallel DBMS on the basis of serial PostgreSQL open source]. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Matematicheskoe modelirovanie i programmirovaniye* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical modeling and programming], 2012, no. 18 (277), pp. 112–120.
15. Popova G. V., Zolotareva N. V. Interaktivnyy metod obucheniya "derevo resheniy" na urokakh khimii [Interactive teaching method of "decision tree" in chemistry classes]. *Innovatsii i perspektivy sovremennoy nauki. Estestvennye nauki* [Innovations and perspectives of modern science. Natural science], 2018, pp. 197–199.
16. Rybina G. V. Ekspertnye sistemy i instrumentalnye sredstva dlya ikh razrabotki: nekotorye itogi [Expert systems and tools for their development: some results]. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyaiushchie sistemy* [Information-measuring and control system], 2013, vol. 11, no. 5, pp. 35–48.
17. Smirnova Yu. A., Zharkikh L. I. Algoritmy poiska aktivnykh tsentrov mezhmolekulyarnogo vzaimodeystviya [Algorithms of active sites of intermolecular interactions]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Technological University], 2020, no. 1, pp. 104–111.
18. Stefanyuk V. L. Povedenie kvazistaticheskoy obolochki v izmenyayushcheysya nechetkoy srede [Behavior of a quasistatic shell in changing fuzzy environment]. *KII-94: Iskusstvennyy intellekt 94: sbornik nauchnykh trudov Natsionalnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [KII-94. Artificial intelligence 94: collection of scientific works of the National conference with international participation], in 2 vol. Rybinsk, 1994, vol. 1, pp. 199–203.

19. Taraskin D. V., Zharkikh L. I. Struktura programmnogo obespecheniya dlya vyyavleniya potentsialnykh aktivnykh tsentrov mezhdu dvumya molekulami [The structure of the software to identify potential active sites between the two molecules]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Technological University], 2019, vol. 22, no. 12, pp. 117–122.

20. Tarasov V. B. Ot mnogoagentnykh sistem k intellektualnym organizatsiyam: filosofiya, psikhologiya, informatika [From multi-agent systems to intellectual organizations: philosophy, psychology, computer science]. *Editorial URSS* [Editorial URSS], 2002. 352 p.

21. Trembach V. M. *Sistemy upravleniya bazami evolyutsioniruyushchikh znaniy dlya resheniya zadach nepreryvnogo obrazovaniya : monografiya* [Database management system evolving knowledge for the solution of tasks of continuous education : monograph]. Moscow, Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics Publ., 2013. 255 p.

22. Trembach V. M. Elektronnye obuchayushchie sistemy s ispolzovaniem intellektualnykh tekhnologiy [E-learning system by using intelligent technologies]. *Otkrytoe obrazovanie* [Open Education], 2013, no. 4, pp. 52–63.

23. Utyubaeva N. V., Alykova T. V., Zolotareva N. V. Modelirovanie sorbtsionnykh protsessov na poverkhnosti kremnezema i aluminosilikatov vkhodyashchikh v sostav sorbenta iz otkhodov burovyykh rabot [Modeling of sorption processes on the surface of the silica and aluminum silicates included in the composition of the sorbent from the waste drilling papers]. *Estestvennye nauki* [Natural Sciences], 2017, vol. 1 (58), pp. 103–111.

24. *Federalnyy zakon RF Ob obrazovanii v Rossiyskoi Federatsii № 273-FZ ot 29.12.2012* [Federal law of the RF “On education in the Russian Federation” no. 273-FZ of 29.12.2012. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/9ab9b85e5291f25d6986b5301ab79c23f0055ca4/ (accessed 01.03.2020).

25. Shakirova V. V., Andreeva N. Yu., Koshkina N. V. etc. Vnedrenie innovatsionnykh tekhnologiy pri izuchenii khimii v sredney shkole [the Introduction of innovative technologies in teaching chemistry in middle school]. *Aktualnye problemy khimii i obrazovaniya : sbornik materialov IV nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh* [Actual problems of chemistry and education : proceedings of the IV Scientific-Practical Conference of Students and Young Scientists]. Astrakhan, Publishing House "Astrakhan University", 2018, pp.128–132.

26. Shautsukova L. Z. *Informatika 10–11* [Informatics 10–11]. Moscow, Prosveshchenie Publ., 2000. Available at: <http://www.tomsk.ru/Books/informatika/theory/index.html> (accessed 09.03.2020).

27. Shvets L. V., Epanchina M. V., Erzhanova A. U., Zolotareva N. V. Ispolzovanie individualnykh obrazovatelnykh marshrutov i programm v shkolnom obrazovanii [Use of individual educational routes and programs in school education]. *Aktualnye problemy nauki proizvodstva i khimicheskogo obrazovaniya : sbornik materialov IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Actual problems of science, production and chemical education : proceedings of the IX All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation]. Astrakhan, 2018, pp. 194–196.

28. Shimanova O. D., Zolotareva N. V. Molekulyarnoe modelirovanie vizualizatsiya materialov i 3d-tekhnologii v obrazovatelnom protsesse [Molecular modeling, visualization of materials and 3d-technology in the educational process]. *Aktualnye problemy nauki proizvodstva i khimicheskogo obrazovaniya : sbornik materialov IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Actual problems of science, production and chemical education : proceedings of the IX All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation]. Astrakhan, 2018, pp. 169–171.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.588: 004.056

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ: АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ РИСКОВ И ВЫРАБОТКА СТРАТЕГИЙ ЗАЩИТЫ ШКОЛЬНИКОВ ОТ НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ¹

Статья поступила в редакцию 31.03.2020, в окончательном варианте – 19.04.2020

Ажмухамедов Искандар Маратович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

доктор технических наук, профессор кафедры информационной безопасности, e-mail: aim_agtu@mail.ru

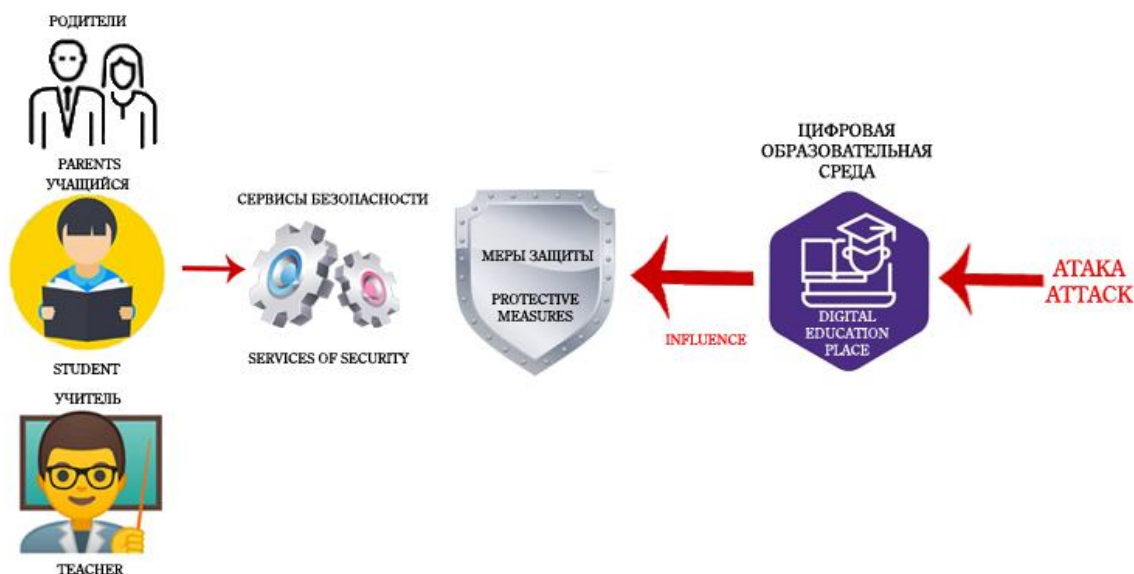
Кузнецова Валентина Юрьевна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

ассистент, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6954-5020>, e-mail: arhelia@bk.ru

Приведен краткий обзор этапов цифровизации российского образования в контексте реализации приоритетных федеральных целевых программ и стратегии развития цифровой экономики; определены основные проблемы, связанные с тенденцией перехода к дистанционному обучению, в том числе показана актуальность рисков использования цифровой образовательной среды в отношении обеспечения информационной безопасности участников образовательного процесса – учащихся, преподавателей, родителей. Приведен перечень актуальных рисков, связанных с нарушением конфиденциальности, целостности, доступности, аутентичности и неотказуемости использования цифровой образовательной среды. Также даны основные рекомендации по возможной минимизации этих рисков. Актуальность использования таких рекомендаций подтверждается результатами проведенного авторами опроса преподавателей, работающих в учреждениях среднего и высшего образования. Результаты исследования целесообразно учитывать в работе администраторов и менеджеров цифровых образовательных платформ с целью повышения качества сервиса.

Ключевые слова: цифровизация образования, цифровая образовательная среда, информационная безопасность, стратегии защиты, цифровая школа, участники образовательного процесса, персональные данные

Графическая аннотация (Graphical annotation)



¹ Статья выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 19-29-14007 мк «Оценка влияния цифровизации образовательного и социального пространства на человека и разработка системы безопасной коммуникативно-образовательной среды».

**INFORMATION SECURITY IN THE DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT:
ANALYSIS OF INFORMATION RISKS AND DEVELOPMENT
OF STRATEGIES TO PROTECT SCHOOLCHILDREN
FROM NEGATIVE CONSEQUENCES OF DIGITALIZATION OF EDUCATION**

Azhmukhamedov Iskandar M., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Information Security, e-mail: aim_agtu@mail.ru

Kuznetsova Valentina Yu., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

assistant, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6954-5020>, e-mail: arhelial@bk.ru

The paper shows an overview of the stages of digitalization of Russian education in the context of the implementation of priority federal target programs and the development strategy of the digital economy is given; identified the main problems associated with the trend of transition to distance learning, including the relevance of the risks of using the digital educational environment in relation to ensuring the information security of the participants in the educational process - students, teachers, parents. The list of actual risks associated with the violation of confidentiality, integrity, availability, authenticity, and non-repudiation of the use of the digital educational environment is given. The main recommendations on the possible minimization of these risks are also given. The relevance of using such recommendations is confirmed by the results of a survey of teachers working in secondary and higher education institutions conducted by the authors. The results of the study should be taken into account in the work of administrators and managers of digital educational platforms in order to improve the quality of service.

Keywords: digitalization of education, digital educational environment, information security, protection strategies, digital school, participants in the educational process, personal data

Введение. Приоритетный проект в области образования «Современная цифровая образовательная среда в Российской Федерации» был утвержден Правительством Российской Федерации 25 октября 2016 г. в целях реализации государственной программы «Развитие образования» на 2013–2020 гг. [13].

Данный проект был представлен на заседании президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и приоритетным проектам премьер-министром Дмитрием Медведевым. Он в своем докладе указал ведомствам на то, что «создание цифровой образовательной среды – это стратегически важная государственная задача, определяемая необходимостью снабжения цифровой экономики молодыми квалифицированными кадрами». А для их подготовки необходимо усовершенствовать систему образования и, в частности, профессиональной подготовки; привести существующие образовательные программы к требованиям цифровой экономики и разработать отсутствующие; повсеместно внедрить электронные инструменты учебной деятельности; обеспечить возможность обучения граждан Российской Федерации и граждан иностранных государств, выбравших нашу страну для получения образования, по индивидуальному учебному плану в течение всей жизни – в любое время и в любом месте.

В приоритетном проекте «Современная цифровая образовательная среда в Российской Федерации» предусматривается повышение качества и доступности образования в России за счет использования дистанционного обучения на всех уровнях образования. Поставлена достаточно амбициозная задача – достижение к 2025 г. числа обучающихся в образовательных организациях, прошедших обучение на онлайн-курсах для формального и неформального обучения, – 11 млн человек. Из них студенты средних профессиональных образовательных организаций и образовательных организаций высшего образования должны составить 5 млн человек.

Реализация приоритетных проектов в области образования предусматривает ряд ключевых направлений, реализация которых идет параллельно:

- разработка и принятие нормативно-правовых актов, необходимых для развития онлайн-обучения (в частности, фиксирующих статус дистанционных курсов в качестве равноправных элементов образовательных программ);
- создание информационного ресурса, который будет обеспечивать доступ к онлайн-курсам по принципу «единого окна» и объединять существующие разрозненные платформы онлайн-обучения благодаря единой системе аутентификации пользователей;
- создание к 2020 г. 3,5 тысяч онлайн-курсов по программам среднего, высшего и дополнительного образования с привлечением ведущих разработчиков и педагогов как из государственных структур, так и бизнес-сообщества;
- подготовка и обучение не менее 10 000 преподавателей и экспертов в области онлайн-обучения [11].

Акцентируем внимание на техническую составляющую проекта – так называемую цифровую образовательную среду, которая по принципу «единого окна» будет обеспечивать учащихся на всех уровнях обучения образовательным контентом. Авторы проекта утверждают, что обучающимся такая система поможет на практике реализовать принцип виртуальной академической мобильности, предоставив им возможность получать качественный образовательный контент от ведущих учебных заведений страны. При этом результаты прохождения онлайн-курсов будут зачетны наравне с результатами очного обучения [1]. С другой стороны, преподавателям ресурс позволит изучить лучший отечественный педагогический опыт, внести в него свою лепту, а также даст возможность выделить больше времени на практические занятия со студентами и на повышение собственной квалификации. Работодатели смогут напрямую высказывать свои пожелания к обучающему контенту с целью приведения его в соответствие с требованиями рынка труда. В отношении образовательных платформ и создателей онлайн-курсов это будет способствовать расширению аудитории, повышению качества и востребованности созданных продуктов [8].

Согласно приоритетным государственным проектам [11, 14], образовательная среда должна быть безопасной для всех участников образовательного процесса, а также обеспечивать высокое качество и доступность образования всех видов и уровней. При этом само введение единой для всех граждан и организаций образовательной системы само по себе порождает ряд рисков, которые угрожают обеспечению безопасности участников образовательной деятельности (учащиеся, преподаватели) в отношении различных аспектов их жизнедеятельности (например, угрозы ослабления социальных и коммуникативных навыков [3], ухудшение физического и психоэмоционального здоровья и т.п.). Помимо всего прочего, имеют место и информационные риски, связанные с безопасностью образовательного процесса в условиях цифровой экономики [2].

В связи с этим становятся актуальными анализ и классификация информационных рисков, связанных с реализацией и внедрением единой цифровой образовательной среды (ЦОС) с точки зрения основных сервисов безопасности информации: конфиденциальности, целостности, доступности, аутентичности и неотказуемости. Рассмотрим их подробнее.

Конфиденциальность. Согласно статье № 2 Федерального закона «Об информации, информационных технологиях и защите информации» [9], конфиденциальность – *«обязательное для выполнения лицом, получившим доступ к определённой информации, требование не передавать такую информацию третьим лицам без согласия её обладателя»*.

Обеспечение конфиденциальности включает процедуры и меры, предотвращающие раскрытие информации нелегитимным пользователям. В первую очередь к конфиденциальной информации, используемой в рамках учебного процесса, можно отнести персональные данные участников ЦОС:

- фамилия, имя, отчество;
- дата рождения;
- адрес места регистрации и проживания, контактные телефоны, адреса электронной почты;
- паспортные данные или данные свидетельства о рождении.

Данный список может быть скорректирован в зависимости от требований образовательного учреждения или единой образовательной платформы. Кроме того, исходя из определения, установленного ч. 1 ст. 11 Федерального закона от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ [10], *«к биометрическим персональным данным относятся физиологические данные (дактилоскопические данные, радужная оболочка глаз, анализы ДНК, рост, вес и другие), а также иные физиологические или биологические характеристики человека, в том числе изображение человека (фотография и видеозапись), которые позволяют установить его личность и могут быть использованы для установления личности субъекта»*.

Использование фотографий участников образовательного процесса предполагается при реализации цифрового обучения в качестве аватаров для аккаунтов.

Риски нарушения конфиденциальности включают в себя нелегитимное распространение личной информации участников образовательного процесса, например, контактных данных, фотографий, а также результатов выполненных индивидуальных заданий и полученных баллов по ним.

Распространение личных данных может привести к проблемам не только в образовательной системе, но и за ее пределами, например, когда личными данными ребенка (обучающегося) могут воспользоваться злоумышленники с целью грабежа или травли его или родителей [5].

Опираясь на вышесказанное, можно сделать вывод, что система цифрового обучения должна всеми возможными способами обеспечивать конфиденциальность обрабатываемых сведений, в том числе согласно действующему законодательству в области защиты персональных данных [10].

Согласно требованиям законодательства РФ в сфере персональных данных (ПДн) [10] утверждены требования, распространяющиеся на защиту ПДн при их обработке в информационных системах обработки персональных данных (ИСПДн). С точки зрения обработки персональных

данных ЦОС также будет являться ИСПДн. Поэтому должна обеспечиваться защита ПДн всех участников образовательного процесса в соответствии с требованием этого постановления.

По требованиям указанного нормативного акта, для ЦОС характерен 3-й тип актуальных угроз и 3-й уровень защищенности (табл.).

Таблица – Определение уровня защищенности ИСПДн ЦОС

Тип ПДн	Категория субъектов	Количество субъектов	Тип актуальных угроз		
			1 тип	2 тип	3 тип
Специальные	Не сотрудники	Более 100 000	УЗ 1	УЗ 1	УЗ 2
		Менее 100 000	УЗ 1	УЗ 2	УЗ 3
	Сотрудники	Любое	УЗ 1	УЗ 2	УЗ 3
Биометрические	Любые	Любое	УЗ 1	УЗ 2	УЗ 3
Иные	Не сотрудники	Более 100 000	УЗ 1	УЗ 2	УЗ 3
		Менее 100 000	УЗ 1	УЗ 3	УЗ 4
	Сотрудники	Любое	УЗ 1	УЗ 3	УЗ 4
Общедоступные	Не сотрудники	Более 100 000	УЗ 2	УЗ 2	УЗ 4
		Менее 100 000	УЗ 2	УЗ 3	УЗ 4
	Сотрудники	Любое	УЗ 2	УЗ 3	УЗ 4

Для обеспечения 3-го уровня защищенности требуется осуществление технической защиты помещений, в которых располагаются элементы ИСПДн, в том числе использование внутриобъектового режима с ограниченным доступом в помещения.

В состав мер по обеспечению 3-го уровня защищенности ПДн, реализуемых в рамках системы защиты персональных данных с учетом актуальных угроз безопасности персональных данных и применяемых информационных технологий, входят:

- идентификация и аутентификация субъектов доступа и объектов доступа;
- управление доступом субъектов доступа к объектам доступа;
- защита машинных носителей информации, на которых хранятся и (или) обрабатываются персональные данные;
- регистрация событий безопасности;
- антивирусная защита;
- контроль (анализ) защищенности персональных данных;
- защита среды виртуализации;
- защита технических средств;
- защита ИСПДн, ее средств, систем связи и передачи данных;
- управление конфигурацией ИСПДн и системы защиты персональных данных.

Данные меры актуальны не только для защиты персональных данных, но и в целом для обеспечения конфиденциальности информации, хранящейся в системе.

Целостность. Этот термин в сфере информационных технологий обозначает, что данные не подвергались изменению при выполнении какой-либо операции над ними, будь то передача, хранение или отображение.

С учетом специфики используемых механизмов обеспечения целостности данных в ЦОС можно выделить три стороны этого понятия.

Правильность. Заключается в отсутствии логических ошибок в структуре и ошибок в содержании (в значениях) данных при их обработке.

Неискаженность. Заключается в отсутствии подделки исходных данных или возникновения ошибок в них при передаче по линиям связи, а также при хранении.

Неизменность. Заключается в тождественности данных определенному эталону, например, если речь идет о формулировке понятий из нормативно-правовых актов и т.п.

В рамках реализации ЦОС данный сервис безопасности информации актуален не менее чем конфиденциальность по нескольким причинам.

П1) Изменение и искажение образовательного контента недопустимо, за исключением тех случаев, когда преподаватель или системный администратор легитимно вносят правки в учебный материал с целью его уточнения, исправления ошибок или обновления контента в связи с изменениями в образовательных стандартах или других нормативно-правовых актах.

П2) Образовательный контент должен соответствовать требованиям нормативно-правовой базы, т.е. быть идентичным эталону; расхождения и приближенные данные неприемлемы.

ПЗ) Критически важно отсутствие логических ошибок в структуре не только образовательного контента или всего курса, но и самой цифровой образовательной среды. В случае если имеются нарушения в логике работы образовательной платформы, то возможны технические проблемы, недоступность образовательных материалов, курсов или вспомогательных разделов среды.

Основными методами обеспечения целостности информации при хранении в информационных системах (в качестве которых выступает ЦОС) являются следующие.

М1) Обеспечение отказоустойчивости за счет резервирования, дублирования, зеркалирования оборудования и данных.

Резервирование и дублирование выполняют одну и ту же функцию при обеспечении отказоустойчивости – создание запасных элементов системы на случай, если основная система не сможет осуществлять работу в полной мере. Например, на случай нарушений в работе основной системы создается копия образовательной платформы, и образовательный процесс временно или постоянно переносится на нее.

М2) Обеспечение возможностей безопасного восстановления данных путем резервного копирования и электронного архивирования информации.

Данный метод включает в себя создание различного рода резервных копий для своевременного восстановления поврежденных данных или всей образовательной платформы в целом. Хранение созданных резервных копий необходимо обеспечивать в отдельных хранилищах, которые никак не связаны с основной системой.

М3) Обеспечение безопасной передачи данных с помощью средств криптографической защиты (шифрование, хеширование, применение электронной цифровой подписи).

Авторы считают, что совокупность перечисленных методов обладает свойством «необходимости и достаточности».

Чтобы избежать нарушения целостности данных при их передаче, например, в случае, когда преподаватель вносит изменения в контент учебного курса, расположенного на образовательной платформе, используются вышеуказанные средства криптографической защиты с целью обнаружения повреждения данных. Если будет выявлено, что данные после передачи оказались повреждены, то изменения в существующую систему вноситься не будут.

Доступность. Согласно стандарту Р 50.1.053-2005, данный термин обозначает «*состояние информации (ресурсов автоматизированной информационной системы), при котором субъекты, имеющие права доступа, могут реализовывать их беспрепятственно*».

К правам доступа относятся следующие: право на чтение, изменение, хранение, копирование, уничтожение информации, а также права на изменение, использование, уничтожение информационных ресурсов.

Нарушение доступности представляет собой создание таких условий, при которых доступ к информации будет либо заблокирован, либо возможен за время, которое не обеспечит достижение тех или иных целей.

Например, одним из наиболее распространенных способов нарушения доступности является чрезмерная загрузка информационной системы (загрузка полосы пропускания сетей, вычислительных возможностей процессоров или оперативной памяти – ddos-атака) или внедрение вредоносного кода в систему. Опасными являются и стихийные бедствия – пожары, наводнения, землетрясения, ураганы.

По статистике [4], на долю этих источников угроз с учетом перебоев электропитания приходится 13 % потерь, нанесенных информационным системам, коей является ЦОС. По этим же данным, техногенные угрозы (пожары, обрушение зданий, перебои в электропитании и пр.) тоже имеют место практически в 2 раза чаще.

Обеспечение доступности цифровой образовательной среды является актуальной и принципиально важной задачей, так как даже кратковременная блокировка образовательного контента нарушает основной принцип образования – принцип доступности обучения.

Кроме того, при угрозе доступности нарушается целостность образовательного процесса, который состоит из 4-х взаимосвязанных компонент:

- процесса освоения и конструирования содержания обучения и базы образовательных материалов;
- взаимодействия учителей и учеников в учебном процессе как части целостного педагогического процесса;
- личностного взаимодействия педагогов с обучаемыми;
- самостоятельного усвоения материала учащимися.

Выпадение любого из этих элементов приводит к существенному снижению результативности образовательного процесса и, как следствие, обучения.

Основными методами обеспечения доступности данных при хранении в автоматизированных системах является использование систем бесперебойного электропитания оборудования, а также резервирование и дублирование вычислительных мощностей, чтобы в случае реализации угроз своевременно восстановить работу системы.

Неотказуемость. Иначе данный сервис безопасности называется неотрекаемостью от авторства информации, а также факта её отправки или получения.

Риск нарушения неотказуемости включает в себя наличие возможности отказаться от факта создания, передачи или получения информации. В качестве примера можно привести отказ от факта отправки оскорбительного письма, от факта несвоевременной сдачи экзамена или выполнения тестовых заданий.

С целью минимизации риска нарушения данного сервиса безопасности в ЦОС должен быть реализован механизм обеспечения неотказуемости, который будет обеспечивать сбор, обработку, а также доступность и признание неопровержимости доказательства (свидетельства) относительно заявленного события или действия с целью урегулирования споров о произошедшем или непроизошедшем событии или действии.

Процедура обеспечения неотказуемости включает четыре фазы: формирование доказательства; доставка, хранение и извлечение; проверка (подтверждение подлинности) доказательства; разрешение спора в установлении авторства. Технически реализация данных процедур осуществляется путем использования электронной подписи и процедур логирования.

Аутентичность. Под термином «аутентичность» понимается возможность однозначно идентифицировать автора или источник информации. В некоторых других литературных источниках этот сервис безопасности называют «подлинность».

Аутентичной является информация, в отношении которой доказано следующее:

- она не подвергалась изменению;
- она была создана или послана именно тем пользователем, который указан в качестве ее создателя или отправителя;
- она была создана или послана именно в то время, которое для нее указано.

Также риск нарушения аутентичности подразумевает под собой возможность субъекта выдавать себя за другого пользователя. Этим субъектом может быть и участник образовательной платформы, и внешний злоумышленник. Результатом такой деятельности, к примеру, может стать несанкционированное изменение контента, мошеннические действия при получении образования с целью пройти экзаменацию ТЕРМИН за обучающегося, внесение изменений в балльно-рейтинговую систему оценки результатов и т.п. Также могут быть скомпрометированы личные данные участников образовательного процесса (нарушение конфиденциальности), или организована рассылка нелегального контента, оскорбительных сообщений от лица других людей.

Обеспечение аутентичности неразрывно связано с идентификацией и аутентификацией пользователей. Проверка подлинности (аутентификация) может проводиться различными методами и средствами. В настоящее время в автоматизированных системах используются три основных способа аутентификации по следующим методам:

1. Парольная защита. Реализуется программными средствами аутентификации, которые существуют в большинстве операционных систем, системах управления базами данных путем выдачи зарегистрированному пользователю индивидуального пароля, который должен держаться в секрете и использоваться для каждого входа в систему. Программы парольной защиты сравнивают введенный пароль с эталоном, хранящимся в базе данных системы, и в случае совпадения паролей запрос пользователя на вход в систему принимается к исполнению.

2. Использование индивидуальных носителей. В качестве предмета, имеющегося у пользователя, применяются идентификационные карты (ИК), в которые заносятся данные, позволяющие идентифицировать пользователя: персональный номер, специальный код и т.п. Эта информация заносится на ИК в зашифрованном виде, причем ключ шифрования может являться дополнительным идентифицирующим параметром, поскольку он может быть известен только пользователю, вводит его им каждый раз при обращении к системе и уничтожается сразу же после использования.

3. Использование физиологических признаков легальных пользователей системы (скан сетчатки глаза, отпечатков пальцев, Face-ID). Существует достаточно много физиологических признаков, однозначно указывающих на конкретного человека. К ним относятся: отпечатки ног и рук, строение челюстно-лицевой области [7], радужная оболочка глаз, черты лица, голос и т.д. Для аутентификации пользователей терминалов автоматизированных систем наиболее приемлемыми

считаются отпечатки пальцев (расположение папиллярных узоров на них), голос, личная подпись. При непосредственном сравнении изображений устройство аутентификации определяет схожесть двух изображений и вырабатывает сигнал, определяющий степень совпадения сравниваемых объектов. Сравнение отпечатков обычно выполняется непосредственно на месте установки рабочей станции, доступ к которой ограничивается описываемым способом. Передача изображения отпечатка по каналам связи не применяется из-за ее сложности, высокой стоимости и необходимости дополнительной защиты этих каналов.

Необходимо отметить, что все рассмотренные методы аутентификации в случае неподтверждения подлинности должны осуществлять временную задержку перед обслуживанием следующего запроса. Это необходимо для снижения угрозы подбора идентифицирующих данных (особенно паролей) в режиме реального времени. При этом все неудачные попытки входа в систему должны регистрироваться в целях обеспечения эффективного контроля над безопасностью системы.

В связи с вышесказанным становится оптимальным использование нескольких методов аутентификации, в том числе двухфакторная авторизация.

Результаты анонимного анкетирования. Оценка актуальности указанных выше рисков невозможна без учета мнения самих участников образовательного процесса. В связи с этим было проведено анкетирование преподавателей школ, колледжей и университетов, результаты которого были обработаны статистически.

В основу расчета необходимого объема репрезентативной выборки (РВ) была положена формула, учитывающая уровень доверия к результатам, полученным при исследовании РВ, а также допустимый предел погрешности. Данная формула используется ВЦИОМом при расчете объема выборки, если не известна доля лиц в генеральной совокупности, обладающих искомым признаком. Впервые данную формулу в русскоязычной литературе привел В.И. Паниотто [12]:

$$V_{PB} = \frac{\frac{Z^2 p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{Z^2 p(1-p)}{e^2 N}\right)} = \frac{Z^2 p N(1-p)}{Z^2 p(1-p) + e^2 N}, \quad (1)$$

где N – численность генеральной совокупности; e – предел погрешности в виде десятичной дроби; Z – уровень доверия (Z -оценка); p – процентная доля интересующей исследователя части выборки, продемонстрировавшей определенное поведение в ходе предыдущих испытаний (также в виде десятичной дроби). При первичном исследовании рекомендуемое значение $p = 0,5$.

Предел погрешности – это процентное значение, показывающее, с какой вероятностью мнения и поведение респондентов из выборки отклоняются от мнения и поведения респондентов из общей (*генеральной*) совокупности.

Уровень доверия указывает, насколько достоверными являются полученные результаты. Общепринятые стандарты, используемые исследователями: 90 %, 95 % и 99 % (фактически уровень доверия 95 % означает, что если повторить одно и то же исследование при одинаковых условиях 100 раз, то в 95 случаях из 100 результаты будут находиться в пределах погрешности). При определении размера выборки используется Z -оценка уровня доверия – мера стандартного отклонения определенной доли от средней величины (значение критерия Стьюдента при указанных уровнях значимости равно 1,65; 1,96 или 2,58 соответственно).

Объем репрезентативной выборки определяется на основе статистических данных и методологических рекомендаций по организации выборочных наблюдений Федеральной службы государственной статистики (Росстат). По ее данным за 2018 г., в Российской Федерации насчитывается 1,711 миллионов педагогических работников (школы, колледжи, вузы).

$$V_{PB} = \frac{1,96^2 \cdot 0,5 \times 1711000 \times (1-0,5)}{1,96^2 \cdot 0,5 \times (1-0,5) + 0,05^2 \times 1711000} = 384.$$

Таким образом, был рассчитан объем репрезентативной выборочной совокупности, которая оказалась равна 384 опрошенным при уровне доверия 95 %.

Именно это количество было опрошено в результате анкетирования. Оно проходило в бумажном и электронном виде. Бумажные анкеты были распространены среди учителей 14 средних школ города Астрахани и преподавателей Астраханского государственного университета. Электронная анкета, реализованная в сервисе Google.Forms, была размещена в закрытом федеральном педагогическом сообществе в социальной сети «ВКонтакте». В этом сообществе состоит свыше 300 тысяч участников, при этом доли преподавателей высших и средних учебных учреждений примерно одинаковые.

При анкетировании респондентам было предложено выбрать наиболее актуальные риски из числа вышеперечисленных при реализации ЦОС.

Результаты опроса в наглядном виде приведены на рисунке.

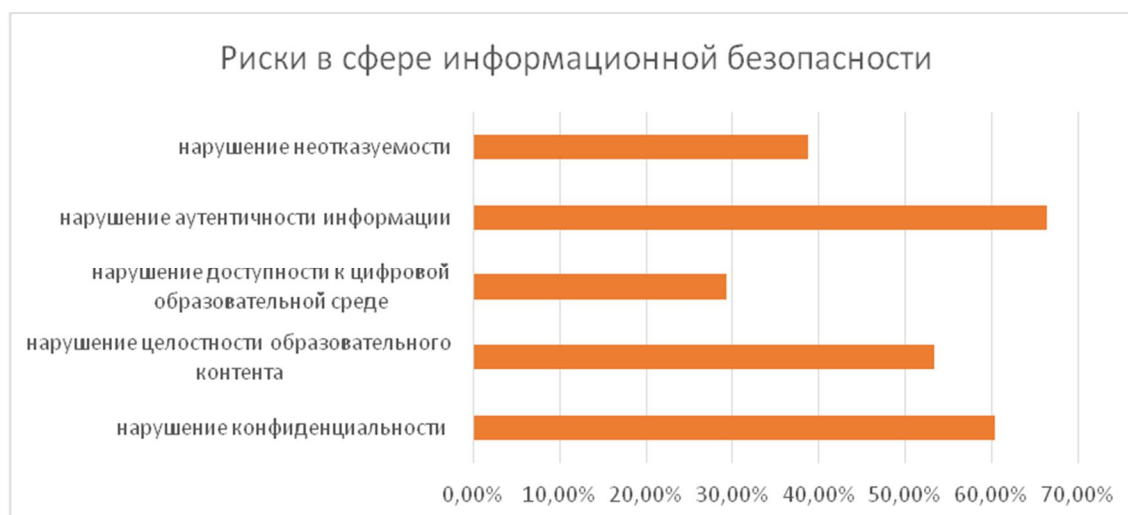


Рисунок – Диаграмма, иллюстрирующая мнение опрошенных об актуальности рисков информационной безопасности при реализации ЦОС

На диаграмме видно, что наибольшие опасения среди педагогического сообщества при реализации ЦОС вызывают риски нарушения конфиденциальности, целостности и аутентичности (свыше половины опрошенных отметили данные варианты ответов при участии в анкетировании). При этом наибольшее количество ответов получил риск, связанный с аутентичностью. Примечательно, что этот риск также наиболее актуален и при реализации классической классно-урочной формы обучения (опасность того, что один ученик напишет контрольную за другого или «подришет» оценки в учительском журнале). Это говорит о том, что риски реализации ЦОС имеют те же самые базисы, что и при классической форме организации образовательного процесса.

Заключение. Информатизация образовательной сферы играет важную роль в повышении качества и доступности образования. Внедрение новых технологий в процесс обучения позволяет наряду с традиционными учебными материалами использовать современные электронные средства поддержки и сопровождения образовательного процесса. Однако при переходе к цифровому образованию возникают угрозы, которые вызваны именно организацией единой цифровой образовательной среды (информационные риски), и их нельзя игнорировать. По мнению российских преподавателей школ, вузов и сузов, которые участвовали в опросе в рамках данного исследования, этот тип рисков является наиболее актуальным. При этом респондентами наиболее актуальными были признаны риски нарушения конфиденциальности, аутентичности и целостности, так как они наиболее явно оказывают деструктивное влияние на участников образовательного процесса.

Поэтому при внедрении ЦОС необходимо тщательно оценить последствия такого вида обучения с точки зрения безопасности, принять и реализовать оптимальную стратегию защиты от вызываемых ею угроз.

Библиографический список

1. Абдрахманова Г. И. О чем говорят цифры / Г. И. Абдрахманова, Г. Г. Ковалева // Народное образование. – 2011. – № 10. – С. 48–51.
2. Аетдинова Р. Р. Анализ и классификация рисков цифровизации образования / Р. Р. Аетдинова // Образование через всю жизнь: непрерывное образование в интересах устойчивого развития : материалы XVII Международной конференции. – Санкт-Петербург : Издательство Санкт-Петербургского государственного экономического университета, 2019. – С. 145–148.
3. Баева Л. В. Социокультурные и философские проблемы развития информационного общества / Л. В. Баева. – Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2019. – 137 с.
4. Балановская А. В. Источники возникновения и последствия реализации угроз информационной безопасности промышленных предприятий / А. В. Балановская. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/istochniki-vozniknoveniya-i-posledstviya-realizatsii-ugroz-informatsionnoy-bezopasnosti-promyshlennyh-predpriyatij/viewer>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 20.01.2020).
5. Зленко Н. С. Почему образование в России нуждается в цифровизации? / Н. С. Зленко // Сборник статей по материалам LXX студенческой Международной научно-практической конференции. – Москва, 2020. – С. 72–77.
6. Майкулов Ж. Ж. Преступления против детей с использованием Интернета / Ж. Ж. Майкулов // Концепт. – 2017. – Т. 39. – С. 2636–2640. – Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2017/970854.htm>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

7. Манин А. И. Виды экспертиз, проводимых при использовании аномалий отдельных зубов для идентификации личности / А. И. Манин. – Режим доступа: <https://www.mediasphera.ru/issues/rossijskaya-stomatologiya/2016/1/082072-64062015018>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 20.01.2020).
8. Маркелов К. А. Анализ существующих и перспективных направлений использования дистанционных образовательных технологий в российских региональных государственных вузах / К. А. Маркелов, Ю. М. Брумштейн, И. М. Ажмухамедов // Дистанционные образовательные технологии : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – 2019.
9. Об информации, информационных технологиях и о защите информации : Федеральный закон № 149-ФЗ от 27 июля 2006 г. : принят Государственной Думой 8 июля 2006 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2006.
10. О персональных данных : Федеральный закон № 149-ФЗ от 27 июля 2006 г. : принят Государственной Думой 8 июля 2006 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2006.
11. Описание проекта «Современная цифровая образовательная среда». – Режим доступа: <http://neorusedu.ru/about>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 20.01.2020).
12. Паниотто В. И. Количественные методы в социологических исследованиях / В. И. Паниотто, В. С. Максименко. – Киев : Наукова Думка, 1982. – 272 с.
13. Приоритетный проект «Современная цифровая образовательная среда в Российской Федерации», утвержденный Президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и приоритетным проектам (протокол от 25 октября 2016 г. № 9) // Консультант. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 20.01.2020).
14. Приоритетный проект «Цифровая школа». – Режим доступа: <http://government.ru/projects/selection/693/30822/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 20.01.2020).
15. Реализация доступа к онлайн-курсам по принципу «одного окна». – Режим доступа: <http://neorusedu.ru/activity/realizatsiya-dostupa-k-onlayn-kursam-po-printsipu-odnogo-okna>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 10.04.2020).

References

1. Abdrahmanova G. I., Kovaleva G. G. O chem govoryat tsifry [What are the numbers talking about?]. *Narodnoe obrazovanie* [Public Education], 2011, no. 10, pp. 48–51.
2. Aetdinova R. R. Analiz i klassifikatsiya riskov tsifrovizatsii obrazovaniya [Analysis and classification of the risks of digitalization of education] // *Obrazovanie cherez vsyu zhizn: nepreryvnoe obrazovanie v interesakh ustoychivogo razvitiya : materialy XVII Mezhdunarodnoy konferentsii* [Education Throughout Life: Continuing Education for Sustainable Development : materials of the XVII International Conference]. St. Petersburg, Saint Petersburg State University of Economics, 2019, pp. 145–148.
3. Baeva L. V. *Sotsiokulturnye i filosofskie problemy razvitiya informatsionnogo obshchestva* [Sociocultural and philosophical problems of the development of the information society]. Astrakhan, Publishing House “Astrakhan University”, 2019. 137 p.
4. Balanovskaya A. V. *Istochniki vozniknoveniya i posledstviya realizatsii ugroz informatsionnoy bezopasnosti promyshlennykh predpriyatiy* [Sources of emergence and consequences of the implementation of threats to the information security of industrial enterprises]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/istochniki-vozniknoveniya-i-posledstviya-realizatsii-ugroz-informatsionnoy-bezopasnosti-promyshlennykh-predpriyatiy/viewer> (accessed 20.01.2020).
5. Zlenko N. S. Pochemu obrazovanie v Rossii nuzhdaetsya v tsifrovizatsii? [Why does education in Russia need digitalization?]. *Sbornik statey po materialam LXX studencheskoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Collection of articles on materials of the LXX student international scientific-practical conference]. Moscow, 2020, pp. 72–77.
6. Maykulov Zh. Zh. Prestupleniya protiv detey s ispolzovaniem Interneta [Crimes against children using the Internet]. *Kontsept* [Concept], 2017, vol. 39, pp. 2636–2640. Available at: <http://e-kontsept.ru/2017/970854.htm>.
7. Manin A. I. *Vidy ekspertiz, provodimykh pri ispolzovanii anomaliiy otdelnykh zubov dlya identifikatsii lichnosti* [Types of examinations carried out when using anomalies of individual teeth to identify a person]. Available at: <https://www.mediasphera.ru/issues/rossijskaya-stomatologiya/2016/1/082072-64062015018> (accessed 20.01.2020).
8. Markelov K. A., Brumshteyn Yu. M., Azhmuhamedov I. M. Analiz sushchestvuyushchikh i perspektivnykh napravleniy ispolzovaniya distantsionnykh obrazovatelnykh tekhnologiy v rossiyskikh regionalnykh gosudarstvennykh vuzakh [Analysis of existing and promising areas of the use of distance learning technologies in Russian regional state universities]. *Distantsionnye obrazovatelnye tekhnologii : materialy IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem)* [Remote educational technology : materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference IV (with international participation)], 2019.
9. Ob informatsii, informatsionnykh tekhnologiyakh i o zashchite informatsii : Federalnyy zakon № 149-FZ ot 27 iyulya 2006 g. : prinyat Gosudarstvennoy Dumoy 8 iyulya 2006 g. [On information, information technologies and information protection : Federation law no. 149-FL of 27 July 2006 : adopted by State Duma 8 July 2006]. *Sobranie zakonodatelstva Rossiyskoy Federatsii* [Collection of legislation of the Russian Federation], 2006.
10. O personalnykh dannykh : Federalnyy zakon № 149-FZ ot 27 iyulya 2006 g. : prinyat Gosudarstvennoy Dumoy 8 iyulya 2006 g. [On personal data : Federation law no. 149-FL of 27 July 2006 : adopted by State Duma 8 July 2006]. *Sobranie zakonodatelstva Rossiyskoy Federatsii* [Collection of legislation of the Russian Federation], 2006.
11. *Opisanie proekta «Sovremennaya tsifrovaya obrazovatel'naya sreda»* [Description of the project “Modern digital educational environment”]. Available at: <http://neorusedu.ru/about> (accessed 20.01.2020).

12. Paniotto V. I., Maksimenko V. S. *Kolichestvennye metody v sotsiologicheskikh issledovaniyakh* [Quantitative methods in sociological research]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1982. 272 p.
13. *Prioritetnyy proekt «Sovremennaya tsifrovaya obrazovatel'naya sreda v Rossiyskoy Federatsii»*, utverzhdenyy Prezidiumom Soveta pri Prezidente RF po strategicheskemu razvitiyu i prioritetnym proektam (protokol ot 25 oktyabrya 2016 g. № 9)], [Priority project “Modern digital educational environment in the Russian Federation”]. *Konsultant* [Consultant]. Available at: <http://www.consultant.ru/> (accessed 20.01.2020)
14. *Prioritetnyy proekt «Tsifrovaya shkola»* [Priority project “Digital school”]. Available at: <http://government.ru/projects/selection/693/30822/> (accessed 20.01.2020)
15. *Realizatsiya dostupa k onlayn-kursam po printsipu «odnogo okna»* [Realization of access to online courses on a one-stop basis]. Available at: <http://neorusedu.ru/activity/realizatsiya-dostupa-k-onlayn-kursam-po-printsipu-odnogo-okna> (accessed 10.04.2020).

DOI 10.21672/2074-1707.2020.51.1.083-093

УДК 004.056

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ЛЕГИТИМНОСТИ ДОСТУПА НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ¹

Статья поступила в редакцию 19.04.2020, в окончательном варианте – 10.09.2020.

Путято Михаил Михайлович, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, кандидат технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9974-7144>, e-mail: putyato.m@gmail.com

Макарян Александр Самвелович, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, кандидат технических наук, доцент, e-mail: msanya@yandex.ru

Чич Шамиль Муратович, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, студент, e-mail: shama_chich@icloud.com

Маркова Валентина Константиновна, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, студентка, e-mail: markokovt@yandex.ru

Биометрические методы основаны на определении личности человека по присущим только ему признакам. В статье рассматриваются характеристики клавиатурного почерка как динамической биометрической характеристики личности. Осуществляется анализ и выбор характеристик, необходимых для идентификации. Алгоритм процесса формирования эталонного образца клавиатурного почерка основан на основе фиксации временных параметров. Рассматриваются классические статистические подходы идентификации пользователей по клавиатурному почерку. Исследованиями установлено, что подходы для сбора и анализа параметров подходят и для формирования клавиатурного почерка на мобильных устройствах. Отмечено, что использование клавиатурного почерка в качестве единственного фактора аутентификации на мобильном устройстве пока не достигает достаточной точности, но вполне приемлемо в качестве дополнительного фактора аутентификации. Для решения задачи идентификации предложено использовать клиент-серверное приложение, дана его характеристика, проведены тестовые испытания и проведен анализ полученных результатов.

Ключевые слова: кибербезопасность, форензика, динамические биометрические характеристики, идентификация, биометрия, защита данных, клавиатурный почерк, защита информации, база данных

¹ Статья подготовлена в рамках исследований, проводимых при реализации гранта РФФИ (2.10.187 «Разработка теоретических основ и алгоритмов функционирования адаптивных систем управления ситуационных центров на основе методов искусственного интеллекта»).

Графическая аннотация (Graphical annotation)



SYSTEM DEVELOPMENT FOR IDENTIFICATION AND CONFIRMATION OF ACCESS LEGITIMACY BASED ON BIOMETRIC AUTHENTICATION DYNAMIC METHODS

The article has been received by editorial board 19.04.2020, in the final version 10.09.2020.

Putyato Michael M., Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Cand. Sci (Engineering), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9974-7144>, e-mail: putyato.m@gmail.com

Makaryan Alexander S., Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Cand. Sci (Engineering), Associate Professor, e-mail: msanya@yandex.ru

Chich Shamil M., Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

student, e-mail: shama_chich@icloud.com

Markova Valentina K., Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

student, e-mail: markokovt@yandex.ru

Biometric methods are based on determining a person's identity based on characteristics that are unique to them. The article considers the characteristics of the keyboard dash as a dynamic biometric characteristic of a person. The analysis and selection of characteristics necessary for identification is carried out. Algorithm for the process of forming a reference sample of keyboard handwriting based on fixing time parameters. Classical statistical approaches to identifying users by keyboard handwriting are considered. It was found that approaches for collecting and analyzing parameters are also suitable for forming keyboard handwriting on mobile devices. It is noted that the use of keyboard handwriting as the only authentication factor on a mobile device does not yet achieve sufficient accuracy, but it is quite acceptable as an additional authentication factor. To solve the identification problem, it is proposed to use a client-server application, its characteristics are given, test tests are carried out and the results of the results are analyzed.

Keywords: cybersecurity, forensics, dynamic biometric characteristics, identification, biometrics, data protection, keyboard handwriting, information security, database

Введение. В эпоху цифровых технологий задаче непрерывного обеспечения защиты информации являются наиболее актуальными. Современные классические программно-аппаратные средства идентификации и аутентификации функционируют непосредственно во время авторизации пользователя в системе. Однако данные методы не обеспечивают достоверность того, что после авторизации в системе продолжает работать легитимный пользователь. С точки зрения оценки безопасности и механизмов защиты данных пользователей, например, на мобильных платформах, локальные критичные данные вызывают наибольший интерес [3]. В том случае, когда доступ к устройству получает злоумышленник, на весь период взаимодействия остается угроза утечки важной информации.

Для решения проблемы утечки конфиденциальной информации возможно использовать клавиатурный мониторинг пользователей.

В настоящее время одним из перспективных методов является распознавание клавиатурного почерка на основе анализа динамических биометрических характеристик человека. Данный метод основан на анализе следующих характеристик пользователя [8]:

- скорость ввода текста;
- время удержания клавиш [2];
- интервал между нажатиями на клавиши;
- частота образования ошибок при вводе (частота нажатия на клавишу delete);

- частота использования функциональных клавиш и комбинаций, применительно к одному и тому же классу устройств ввода;

- уровень ритмичности при наборе и др.

Общая характеристика методов биометрической аутентификации. Биометрические методы основаны на определении личности человека по присущим только ему признакам. Основное достоинство биометрических методов состоит в том, что такие признаки невозможно украсть или передать другому человеку.

Биометрические методы делятся на физиологические, поведенческие и комбинированные. Подробная классификация представлена на рисунке 1.

Поведенческие характеристики сложнее распознать с высокой точностью, но вместе с тем сложнее и подделать.

Современная биометрическая аутентификация основывается на двух методах [15]:

- статический метод. Этот метод аутентификации основан на распознавании физических параметров человека, которыми он обладает на протяжении всей жизни: отпечатки пальцев, отличительные характеристики радужной оболочки глаза, рисунок глазной сетчатки, термограмма, геометрия лица, геометрия кисти руки и даже фрагмент генетического кода);

- динамический метод. Основан на анализе особенностей поведения пользователя, которые проявляются в процессе выполнения повседневных действий (подпись, клавиатурный почерк, голос и др.).

Биометрическая аутентификация не определяет пользователя с абсолютной точностью. В связи с тем, что некоторые реализации стойких криптосистем, например, систем аутентификации, основанных на постквантовых преобразованиях, находятся на этапе теоретического обоснования и прототипной проработки [5], биометрические характеристики пользователей будут занимать основную роль в процессе подтверждения личности. При этом существует вероятность допущения ошибок первого (отказ в доступе) и второго рода (ложный доступ) [7].



Рисунок 1 – Классификация биометрических методов

Эффективность систем биометрической аутентификации принято оценивать по двум характеристикам:

- *отказ в доступе* (ошибка первого рода – FRR, false. rejectionrate) – с какой вероятностью система не узнает зарегистрированного пользователя;

• *ложный доступ* (ошибка второго рода – FAR, falseaccessrate) – вероятность ошибочного допуска нелегального пользователя.

Процесс получения оценочных данных для конкретного человека подразумевает однократное, периодическое или непрерывное получение данных о его действиях при вводе контрольной фразы или набора данных, характерных для его постоянной деятельности.

Основное место на рынке биометрической защиты всегда занимал статический метод, динамическая аутентификация и комбинированные системы защиты информации занимали всего лишь 20 % рынка [17].

Следует отметить, что классическая биометрия, использующая *статические* методы, имеет ряд проблем [13]:

- идентификация пользователя только на определенном этапе взаимодействия: вход, подтверждение транзакции и т.п.;
- механизмы основаны на анализе персональных данных пользователя;
- требуют внедрения дополнительных технических устройств;
- каждый дополнительный фактор идентификации уменьшает успешность транзакции на 15–20 %;
- основаны на внешних (видимых) физиологических характеристиках.

Преимущества *динамических* методов биометрической аутентификации над статическими очевидны:

- непрерывная проверка подлинности для обнаружения несанкционированного доступа во время всего сеанса;
- не требует изменения пользовательского поведения (скрытый метод идентификации);
- работает на всех платформах и устройствах без дополнительного оборудования.

Следует отметить, что в последние годы, наблюдается резкая тенденция развития динамических методов защиты [12]. Сравнение существующих методов представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение результативности использования методов биометрической аутентификации

Метод биометрической аутентификации	FAR (коэффициент ложного допуска)	FRR (коэффициент ложного отказа)	Фальсификация	Комфорт пользователя	Стоимость
Отпечаток пальца	0,001%	0,6 %	Возможна	Средний	Низкая
Распознавание лица 2D	0,1%	2,5 %	Возможна	Средний	Средняя
Распознавание лица 3D	0,0005%	0,1 %	Проблематична	Средний, ниже среднего	Высокая
Радужная оболочка глаза	0,00001%	0,016 %	Невозможна	Высокий	Высокая
Сетчатка глаза	0,0001%	0,4 %	Невозможна	Низкий	Высокая
Рисунок вен ладони	0,0008%	0,01 %	Невозможна	Средний	Средняя
Голос	0,75%	0,75 %	Возможна	Средний	Низкая
Клавиатурный почерк	0.01%	0,01 %	Возможна	Высокий	Низкая

Основываясь на приведённых данных, можно сделать вывод о том, что применение динамических методов биометрической аутентификации, а именно клавиатурного почерка, является востребованным. Однако при существующем уровне интегрированности программного обеспечения такое применение возможно только в качестве вспомогательного фактора аутентификации для мобильных устройств. Обратим внимание, что выполняются три основных требования к аутентификации [14]:

- знания какой-то информации, известной только пользователю, например, пароль или контрольная фраза;
- владения какого-то устройства, которое имеется только у пользователя, – телефон;
- уникальности, присущей пользователю и однозначно идентифицирующей личность, – биометрические данные.

Роль статистических алгоритмов в динамических методах аутентификации и идентификации. Масштабное исследование биометрических методов, проведенное Национальным бюро стандартов, позволило сделать предельные оценки: вероятность правильного распознавания

пользователей с установившимися навыками работы с клавиатурой составила 98 %, что вполне достаточно для того, чтобы говорить об успешной практической применимости подобных систем [16].

Анализ клавиатурного почерка имеет свои достоинства и недостатки [6], ровно, как и любые биометрические методы [1].

К достоинствам можно отнести следующее:

- для биометрической идентификации достаточно физических параметров человека и не нужны никакие файлы (которые, например, можно скопировать) или пароли (которые, например, можно взломать)

- уникальные человеческие качества хороши тем, что их трудно подделать;
- в отличие от бумажных идентификаторов (паспорт, водительские права, страховое свидетельство, ИНН), или пароля, или персонального идентификационного номера (ПИН), биометрические характеристики не могут быть забыты или потеряны, их всегда легко «предъявить».

К недостаткам можно отнести:

- недоверие со стороны пользователей. (Широкие массы пользователей пока не готовы к переходу на такой вид идентификации);
- вопросы к точности и достоверности. (Ни один из биометрических подходов не дает 100%-й точности);
- высокая цена. (Издержки, связанные с реализацией и поддержкой биометрической системы выше, чем при использовании паролей);
- угроза конфиденциальности.

При анализе клавиатурного почерка существует ряд сложностей [9]:

- разброс параметров клавиатурного почерка в зависимости от психофизического состояния пользователя;

- разброс параметров клавиатурного почерка в зависимости от используемой клавиатуры. В работе [11] говорится, что исследование КП пользователя на разных клавиатурах дало разброс вероятности аутентификации на 0,5 %.

- необходимость сбора большого количества статистических данных для каждого исследования КП, отсутствие готовых баз данных с образцами КП.

Рассмотрим наиболее исследованный подход на основании вероятностно-статистических методов. Проведём сравнение статистических алгоритмов [16] по некоторым критериям оценки, характерным для функциональных характеристик человека (табл. 2).

Таблица 2 – Аутентификация и идентификация с использованием статистических алгоритмов

Параметры	Тип тестирования	Метод распознавания	Количество пользователей	Количество образцов	FAR	FRR	ERR
Время удержания	Статистический (Statistical)	Статичный	64	310	0,47	1,32	2,2
	Статистический (Statistical)	динамичный	25	1620	-	-	-
	Статистические классификаторы (Statistical classifiers)	Статичный	100	5000	1,4	1,4	1,41
	Гипотезы (Hypothesis)	Статичный	16	3200	4,5	5,5	-
	Манхетонское расстояние (Manhattan)	статичный	51	20400	-	-	9,6
	Угловые задержки (Angle b/w latencies)	статичный	15	-	3,6	4,7	-
Интервалы между нажатиями	Статистический (Statistical)	Статичный	44	220	0	2,3	-
	Мера расстояния (Distance measure) (мера Хэмминга)	динамичный	31	-	8,33	2,6	-
	Относительный, абсолютная дистанция (Relative, Abs. distance)	Статичный, динамичный	205	765	0,005	5	0,5
	Степень беспорядка (Degree of disorder)	Статичный	18	810	0	0,55	-
Время удержания и интервалы между нажатиями	Статистический (Statistical)	Динамичный	21	-	9	5	-

Исходя из полученных результатов, аутентификацию на основе анализа клавиатурного почерка можно считать эффективной, также следует отметить, что в настоящее время нет приложения для анализа клавиатурного почерка для мобильных устройств, что подтверждает актуальность

дальнейшего исследования динамических методов биометрической аутентификации и дальнейшей реализации клиентского приложения для мобильных устройств.

Помимо анализа клавиатурного почерка был предложен способ идентификации и аутентификации, в основе которого лежит метод распознавания подписи субъекта доступа [11]. Этапы данного подхода:

- 1) получение геометрических данных подписи с дигитайзера;
- 2) оцифровка и передача данных в ПК с помощью стандартных интерфейсов;
- 3) дальнейший анализ с помощью различных программных средств.

В данном методе идентификации/аутентификации основными параметрами служат кривизна, скорость, время, нажим и топологические инварианты (связность, количество и последовательность точек самопересечения).

Входящий образ формируется путем ввода подписи в специальный планшет (дигитайзер). Далее производится цифровое преобразование таких величин, как: координаты конца пера, звуковое давление, положение рук). Далее параметры записываются в текстовый файл, структура которого состоит из трех столбцов x , y , t , где x , y – координаты пера, t – время.

Однако высокая чувствительность дигитайзера к условиям эксплуатации и внешним факторам, а также относительно низкая распространенность подобного рода устройств не позволяют считать данный подход перспективным для массового использования для идентификации/аутентификации пользователей [4]. Но данный подход можно адаптировать и использовать в мобильных устройствах, которые оснащены сенсорным экраном. Такой подход позволит полноценно производить аутентификацию и идентификацию пользователей.

Реализация применения динамических методов биометрической аутентификации для мобильных устройств на основе статистических алгоритмов. Разрабатываемое программное приложение (рис. 2) предназначено для непрерывного сбора информации о клавиатурных нажатиях на русском/английском языках и идентификации санкционированных или несанкционированных действий пользователя.



Рисунок 2 – Архитектура системы аутентификации и идентификации пользователей

Система реализуется на базе клиент-серверной архитектуры. На стороне клиента имеется приложение, позволяющее считывать биометрические данные – время удержания клавиш. Тестовый образец содержит введенный пароль и динамические характеристики, также имя профиля аутентификации. Иными словами, на первом этапе пользователь проходит регистрацию в приложении, тем самым формируя имя профиля. На втором этапе формируется тестовый образец путем ввода парольной фразы, в течение всего времени взаимодействия с клавиатурой устройства считывается время удержания клавиш. Данные отправляются на сервер и путем математических вычислений формируется эталонный образец клавиатурного почерка пользователя.

На стороне сервера находится БД с эталонами аутентификационных данных, также на сервере реализуются алгоритмы сравнения тестовых образцов и эталонов. Клиент от сервера получает ответ, являющийся результатом сравнения.

Для защиты от атаки «человек по середине» [10] между сервером и клиентом используется защищенный канал связи. Основные этапы работы приложения приведены на рисунке 3.

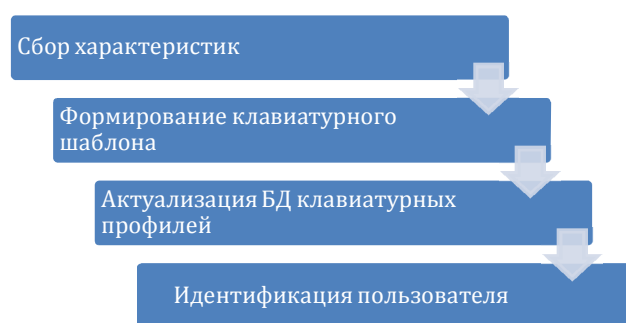


Рисунок 3 – Этапы работы программного приложения

Этап сбора характеристик включает в себя получение значений параметров, описанных выше.

Формирование клавиатурного шаблона включает в себя анализ полученных значений параметров (время удержания клавиш) и формирование эталонного шаблона, с которым в дальнейшем будут сравниваться значения, полученные при попытке авторизоваться в системе. Актуализация БД клавиатурных профилей заключается в обновлении эталонов, хранящихся в базе данных. Идентификация пользователя – подтверждение личности пользователя получение разрешения/отказа в доступе.

В настоящее время существует 2 метода реализации аутентификации пользователя по клавиатурному почерку [8]:

- по заранее известной парольной фразе;
- непрерывный мониторинг клавиатурной активности пользователя на протяжении всего времени взаимодействия с устройством.

При реализации аутентификации по парольной фразе выполняются следующие шаги:

- создание эталона по заранее определенному тексту – «паролю»;
- дальнейшее распознавание пользователя реализуется путем сравнения значений параметров, полученных при вводе парольной фразы во время аутентификации, с эталоном, полученным ранее.

Парольный метод может быть использован на этапе авторизации, но использование его далее затруднено, так как его реализация требует значительного уменьшения комфорта пользователя.

Суть непрерывного мониторинга заключается в том, что его можно использовать как во время аутентификации, так и после её прохождения:

- мониторинг всей клавиатурной активности пользователя. Достаточно ресурсоемко для решающего устройства, так как в базе эталонов требуется хранение временных меток всех символов, которые когда-то вводил пользователь;
- подход на основе частых биграмм. Менее ресурсоемко, так как используются лишь пары наиболее часто встречающихся букв [2].

В рамках статьи было разработано приложение на основе метода распознавания по парольной фразе для операционной системы Android (рис. 3).

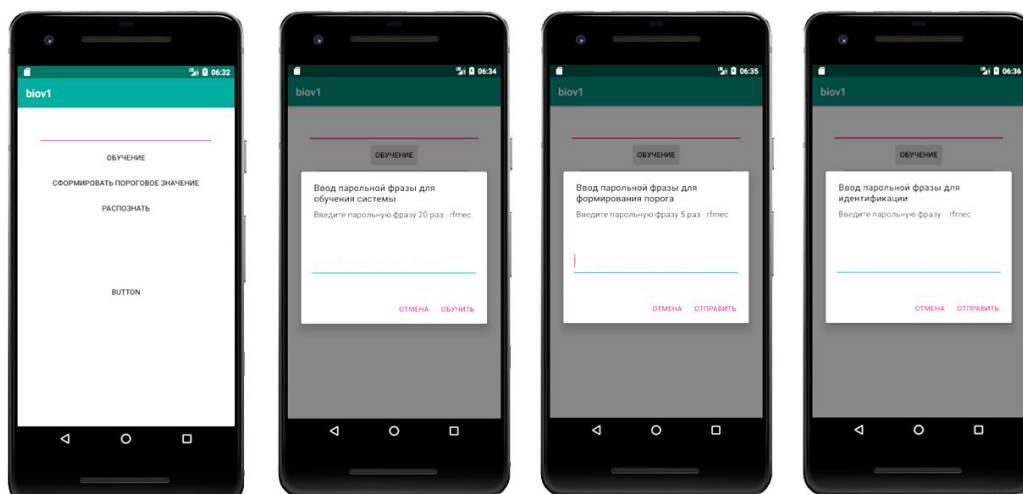


Рисунок 3 – Этапы работы приложения

В данном приложении реализованы 3 этапа распознавания клавиатурного почерка:

- обучение;
- формирование порогового значения;
- распознавание.

На этапе обучения пользователь вводит [12] парольную фразу 20 раз и отправляет данные на сервер. На сервере обрабатываются полученные значения, и формируется эталон клавиатурного почерка. Эталон формируется по принципу высчитывания среднего значения такого параметра, как время удержания клавиш.

На этапе формирования порогового значения пользователь вводит парольную фразу 5 раз и отправляет данные на сервер. На этом этапе на сервере формируется мера Хэмминга [10], иными словами, формируется значение допустимого количества несовпадений временных параметров a_1 с эталоном a_2 :

$$H = a_1 \oplus a_2. \quad (1)$$

Для идентификации пользователя по клавиатурному почерку [12] отслеживаются значения двухмерного вектора:

$$P = (t_r, t_i), \quad (2)$$

где t_r – время удержания; t_i – длительность паузы.

На этапе распознавания после ввода парольной фразы пользователь на экране увидит ответ от сервера либо с положительным результатом, либо с отрицательным, что означает «свой» или «чужой» пользователь вводил парольную фразу на этапе распознавания.

Было проведено тестирование приложения с участием нескольких пользователей. Пользователями являлись два студента разного пола в возрасте 18–23 лет.

В ходе тестирования каждый пользователь обучил систему и сформировал эталон клавиатурного почерка (табл. 3).

Таблица 3 – Тестирование приложения «bio_v1»

Количество итераций ввода парольной фразы на этапе обучения	Количество символов, отправленных на сервер для обучения системы	Значение меры Хэмминга	Количество итераций распознавания	Количество ошибок первого рода (FRR), ложный отказ в доступе (свой принят за чужого)	Количество ошибок второго рода (FAR), коэффициент ложного доступа (чужой принят за своего)
20	120	User1: 46,6	45	0,44	0
		User2: 46,6		0,53	0,04
40	240	User1: 50	45	0,73	0,044
		User2: 26,66		0,08	0,77
60	360	User1: 52,5	45	0,6	0,42
		User2: 46,6		0,28	0,64

В ходе анализа таблицы 2 выявлены следующие факты:

- большой процент ошибки первого рода для первого тестирования (44 % и 53 %) для первого и второго пользователя соответственно;
- большой процент ошибки первого рода для второго тестирования у первого пользователя (73 %), большой процент ошибки второго рода для второго пользователя (77 %);
- большой процент ошибки первого рода для третьего тестирования у первого пользователя (60 %), у второго пользователя – 28 %, большой процент ошибки второго рода у первого пользователя 42 %, у второго пользователя – 64 %.

Причинами получения данных результатов могут быть следующие факты:

- пользователи испытывали дискомфорт;
- индивидуальное психо-физиологическое состояние на момент проведения тестирования;
- монотонное повторение однотипных действий в течение небольшого промежутка времени.

На данном этапе разработки приложение строит эталонный шаблон по одному параметру – время удержания клавиш и по заданной парольной фразе, известной как легитимному пользователю, так и злоумышленнику. В таблице 4 представлены полученные результаты.

Таблица 4 – Тестирование приложения «bio_v1»

Количество итераций ввода парольной фразы на этапе обучения	Пользователь	Значение временного параметра для символа «г», мс	Значение временного параметра для символа «ф», мс	Значение временного параметра для символа «п», мс	Значение временного параметра для символа «е», мс	Значение временного параметра для символа «с», мс
20	User1	80,5	75	97	79	60
	User2	89	94,5	96,4	87,5	86,5
40	User1	86	96	84	87,5	88,5
	User2	102	101	88,5	86	78
60	User1	85	83,5	91,5	92	69,5
	User2	95	80,5	81,5	90,5	103,5

По результатам, отображенным в таблице 4, сделаны следующие выводы:

- ни одно значение параметра эталонного шаблона клавиатурного почерка у пользователей не совпало, следовательно, можно сделать вывод о том, что каждый человек имеет свой уникальный клавиатурный почерк;
- для первого тестирования системы наименьшее различие наблюдается для удержания клавиши «п» (0,6мс), наибольшее – для клавиши «ф» (19,5мс);
- для второго тестирования системы наименьшее различие наблюдается для удержания клавиши «е» (1,5мс), наибольшее – для клавиши «г» (16мс);
- для третьего тестирования системы наименьшее различие наблюдается для удержания клавиши «е» (1,5мс), наибольшее различие – для удержания клавиши «с» (34мс).

По результатам тестирования можно сделать вывод о том, что большой процент ошибок первого и второго рода обусловлен недостаточным количеством полученных данных на сервере для формирования эталона клавиатурного почерка, также сделан вывод о том, что одного параметра (время удержания клавиш) для формирования эталона клавиатурного почерка недостаточно. Следует отметить, что тестирование проводилось непрерывно для трех экспериментов. Пользователи монотонно вводили известную фразу в течение некоторого времени, что является некомфортным для пользователя. Из этого следует, что дальнейшие тестирования следует проводить с перерывами в течение длительного времени (минимально суток), чтобы проследить тенденцию изменения клавиатурного почерка разных людей в течение одного периода времени.

Также следует отметить, что монотонный ввод неменяющейся фразы приводит к искажению результатов, из чего следует вывод о том, что актуальнее проводить тестирования по вводу свободного текста.

Выводы. Таким образом, сочетание клавиатурного почерка с иными методами аутентификации повышает надежность системы защиты мобильных устройств. Реализация такого сочетания через разработку приложения, которое можно встроить в системные приложения смартфонов или которое может скачать любой желающий, не требует колоссальных ресурсов или производительных мощностей, а лишь только увеличивает количество манипуляций для пользователя. Конечно же, встает вопрос о дополнительных трудозатратах, но в погоне за конфиденциальностью и предотвращением несанкционированного доступа каждый пользователь выберет вариант с дополнительными временными затратами в угоду своей безопасности.

Остается проблема оценки устойчивости и индивидуальности биометрических характеристик. Тем не менее предложенный подход к распознаванию биометрического портрета пользователя позволяет выявить лица, чей клавиатурный почерк надежно их идентифицирует. Также необходимы дальнейшие исследования в данной области, направленные на повышение достоверности и точности результатов, модернизации графического интерфейса, оптимизации скорости работы и т.д.

Результаты исследования выявили следующие преимущества использования динамических методов биометрической аутентификации пользователей:

- не требуется приобретение никакого дополнительного оборудования [2];
- от пользователя не требуется никаких дополнительных навыков и действий;

- предусмотрена возможность скрытой аутентификации, пользователь даже может быть не в курсе, что включена дополнительная проверка, а значит, не сможет об этом сообщить злоумышленнику [15] (в случае применения подхода непрерывного мониторинга).

Эффективность распознавания пользователя на основе динамических методов биометрической аутентификации достигает 92,14 %, что позволяет говорить о высоком потенциале применения данного метода в рамках разработки систем доступа к мобильным устройствам.

Библиографический список

1. Абдалла Али А. А. Биометрическая идентификация личности / А. А. Абдалла Али // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии : сборник трудов 8-й Международной научно-технической конференции с научной молодежной школой имени И.Н. Спиридонова. – 2008. – Кн. 2. – С. 145–147. – Режим доступа : http://freme.vlsu.ru/trudy_pdf/freme_2008_book_2.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
2. Аверин А. И. Аутентификация пользователей по клавиатурному почерку / А. И. Аверин, Д. П. Сидоров // Огарев-онлайн. – 2015. – № 20 (61). – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/wp-content/uploads/2015/10/averin-sidorov.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
3. Васильев В. И., Калямов М. Ф., Калямова Л. Ф. Идентификация пользователей по клавиатурному почерку с применением алгоритма регистрации частых биграмм / В. И. Васильев, М. Ф. Калямов, Л. Ф. Калямова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. – Т. 6, № 1. – С. 399–407. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34971186>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
4. Брумштейн Ю. М. Анализ эффективности использования различных программно-аппаратных решений для исследования динамики выполнения подписи человеком / Ю. М. Брумштейн, Д. В. Харитонов, М. В. Иванова // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии : сборник трудов XI Международной научно-технической конференции с научной молодежной школой имени И.Н. Спиридонова. – 2014. – Кн. 2. – С. 56–60. – Режим доступа: http://freme.vlsu.ru/trudy_pdf/freme_2014_book_2.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
5. Горелик А. Л. Методы распознавания / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. – Москва : Высшая школа, 1984. – 80 с.
6. Одинец Д. Н. Способы построения систем идентификации личности по биометрическим параметрам / Д. Н. Одинец // Электронное содружество. Парк высоких технологий. Безопасные телематические приложения : доклады V Международного конгресса. Минск, 10–11 ноября 2005 г. / под ред. М. М. Маханька, В. Е. Кратенка. – Минск : ГУ «БелИСА», 2005. – С. 152.
7. Путятю М. М. Классификация мессенджеров на основе анализа уровня безопасности хранимых данных / М. М. Путятю, А. С. Макарян // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2019. – С. 135–143. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41869982>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
8. Савинов А. Н. Решение проблем возникновения ошибок первого и второго рода в системах распознавания клавиатурного почерка / А. Н. Савинов, И. Г. Сидоркина // 81 – ИКТ: образование, наука, инновации : труды III Междунар. науч.-практ. конф. – Алматы : МУИТ, 2012. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-resheniya-problem-vozniknoveniya-oshibok-pervogo-i-vtorogo-roda-v-sistemah-raspoznavaniya-klaviaturnogo-pocherka>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
9. Сидоркина И. Г. Три алгоритма управления доступом к КСИИ на основе распознавания клавиатурного почерка оператора / И. Г. Сидоркина, А. Н. Савинов // Вестник Чувашского университета. – 2013. – № 3. – Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21115327_21253793.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
10. Скуратов С. В. Использование клавиатурного почерка для аутентификации в компьютерных информационных системах / С. В. Скуратов // Безопасность информационных технологий. – 2010. – Режим доступа: <https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/view/724>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
11. Троцкий Д. П. Биометрическая система распознавания подписи / Д. П. Троцкий, К. В. Чирков, Л. Т. Сушкова // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии : сборник трудов 8-й Международной научно-технической конференции с научной молодежной школой имени И.Н. Спиридонова. – 2008. – Кн. 2. – С. 162–165. – Режим доступа: http://freme.vlsu.ru/trudy_pdf/freme_2008_book_2.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
12. Ходашинский И. А. Технология усиленной аутентификации пользователей информационных процессов / И. А. Ходашинский, М. В. Савчук, И. В. Горбунов, Р. В. Мещеряков // Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – С. 236–248. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17873015>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
13. Биометрическая идентификация и аутентификация. – Режим доступа: http://www.techportal.ru/glossary/biometricheskaya_identifikaciya.html, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
14. Какова стратегия безопасного доступа для банковских продуктов. – Режим доступа: <http://www.smartsecurity.tech/wp-content/uploads/2017/03/Smart-Security.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
15. Методы биометрической идентификации: сравнительный анализ. – Режим доступа: http://www.biometrics.ru/news/metodi_biometricheskoi_identifikacii_sravnitelnoi_analiz/, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
16. El-Hadidi Kamal M. Biometrics. What and How. – Режим доступа: <http://www.net-security.org/dl/articles/Biometrics.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
17. Современные методы биометрической идентификации. – Режим доступа: <https://www.azone-it.ru/sovremennye-metody-biometricheskoy-identifikacii>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

References

1. Abdalla Ali A.A. Biometricheskaya identifikatsiya lichnosti [Biometric person identification]. *Fizika i radioelektronika v meditsine i ekologii : Sbornik trudov 8 Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «s nauchnoy molodezhnoy shkoloy imeni I.N. Spiridonova* [Physics and radioelectronics in medicine and ecology : proceedings of the 8th International Scientific Conference «with the scientific youth school named after I.N. Spiridonov], 2008, Book 2, pp. 145–147. Available at: http://freme.vlsu.ru/trudy_pdf/freme_2008_book_2.pdf
2. Averin A. I., Sidorov D. P. Autentifikatsiya polzovateley po klaviaturnomu pocherku [User authentication base on keystroke dynamics]. *Ogarev-onlayn* [Ogarev-online], 2015, no. 20 (61). Available at: <http://journal.mrsu.ru/wp-content/uploads/2015/10/averin-sidorov.pdf>
3. Vasilev V. I., Kalyamov M. F., Kalyamova L. F. Identifikatsiya polzovateley po klaviaturnomu pocherku s primeneniem algoritma registratsii chastykh bigramm [Identification of users by keyboard handwriting using the algorithm of frequent bigrams registration.]. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii* [Modeling, Optimization and Information Technologies], 2018, vol. 6, no. 1, pp. 399–407. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34971186>
4. Brumshteyn Yu. M., Kharitonov D. V., Ivanova M. V. Analiz effektivnosti ispolzovaniya razlichnykh programmo-apparatnykh resheniy dlya issledovaniya dinamiki vypolneniya podpisov chelovekom. *Fizika i radioelektronika v meditsine i ekologii : sbornik trudov XI Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «s nauchnoy molodezhnoy shkoloy imeni I.N. Spiridonova* [Physics and radioelectronics in medicine and ecology : proceedings of the XI International Scientific Conference with the scientific youth school named after I.N. Spiridonov]. 2014, Book 2, pp. 56–60. Available at: http://freme.vlsu.ru/trudy_pdf/freme_2014_book_2.pdf
5. Gorelik A. L., Skripkin V. A. *Metody raspoznavaniya* [Recognition methods]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1984. 80 p.
6. Odinets D. N. Sposoby postroeniya sistem identifikatsii lichnosti po biometricheskim parametram [Methods of constructing personal identification systems based on biometric parameters]. *Elektronnoye sodruzhestvo. Park vysokikh tekhnologiy. Bezopasnye telematicheskie prilozheniya : doklady V Mezhdunarodnogo kongressa* [Electronic community. Hi-tech park. Secure telematics applications : proceedings of the V International Congress]. Minsk, November 10–11, 2005. Minsk, 2005, p. 152.
7. Putyato M. M., Makaryan A. S. Klassifikatsiya messendzherov na osnove analiza urovnya bezopasnosti khranimykh dannyykh [Classification of messengers based on analysis of the security level of stored data]. *Pri-kaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2019, pp. 135–143. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41869982>
8. Savinov A. N., Sidorkina I. G. Reshenie problem vozniknoveniya oshibok pervogo i vtorogo roda v sistemakh raspoznavaniya klaviaturnogo pocherka [Analysis of the solution problems the origin of type i errors and type ii errors in system of recognition of keystroke dynamics]. *IKT: obrazovanie, nauka, innovatsii : trudy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [ICT: education, science, innovation : proceedings of the Third International Scientific-Practical Conference]. Almaty, MUIT Publ., 2012. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-resheniya-problem-vozniknoveniya-oshibok-pervogo-i-vtorogo-roda-v-sistemah-raspoznavaniya-klaviaturnogo-pocherka>
9. Sidorkina I. G., Savinov A. N. Tri algoritma upravleniya dostupom k KSII na osnove raspoznavaniya klaviaturnogo pocherka operatora [Three algorithms of control access to the KSII on the basis of recognition of keystroke dynamics]. *Vestnik Chuvashskogo universiteta* [Bulletin of Chuvashia University], 2013, no. 3. Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21115327_21253793.pdf
10. Skuratov S.V. Ispolzovanie klaviaturnogo pocherka dlya autentifikatsii v kompyuternykh informatsionnykh sistemakh [Using keyboard handwriting for authentication in computer information systems]. *Bezopasnost informatsionnykh tekhnologiy* [IT Security], 2010, pp. 38–35. Available at: <https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/view/724>
11. Trotskiy D. P., Chirkov K. V., Sushkova L. T. Biometricheskaya sistema raspoznavaniya podpisov [Biometrical system for dynamic signature recognition]. *Fizika i radioelektronika v meditsine i ekologii : sbornik trudov 8-y Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii s nauchnoy molodezhnoy shkoloy imeni I.N. Spiridonova* [Physics and radioelectronics in medicine and ecology : proceedings of the 8th International Scientific and Technical Conference with the scientific youth school named after I.N. Spiridonov], 2008, book, 2, pp. 162–165. Available at: http://freme.vlsu.ru/trudy_pdf/freme_2008_book_2.pdf
12. Khodashinskiy I. A., Savchuk M. V., Gorbunov I. V., Mesheryakov R. V. Tekhnologiya usilennoy autentifikatsii polzovateley informatsionnykh protsessov [Strong authentication technology of the users of information processes]. *Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Management, computer engineering and informatics], 2011, pp. 236–248. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17873015>
13. *Biometricheskaya identifikatsiya i autentifikatsiya* [Biometric identification and authentication]. Available at: http://www.techportal.ru/glossary/biometricheskaya_identifikatsiya.html
14. *Kakova strategiya bezopasnogo dostupa dlya bankovskikh produktov* [What is a secure access strategy for banking products]. Available at: <http://www.smartsecurity.tech/wp-content/uploads/2017/03/Smart-Security.pdf>
15. *Metody biometricheskoy identifikatsii: sravnitel'nyy analiz* [Biometric authentication methods: a comparative analysis]. Available at: http://www.biometrics.ru/news/metodi_biometricheskoi_identifikatsii_sravnitel'nii_analiz/
16. El-Hadidi Kamal M. *Biometrics. What and How*. Available at: <http://www.net-security.org/dl/articles/Biometrics.pdf>
17. *Sovremennye metody biometricheskoy identifikatsii* [Modern methods of biometric identification]. Available at: <https://www.azone-it.ru/sovremennye-metody-biometricheskoy-identifikatsii>

DOI 10.21672/2074-1707.2020.51.1.094-102

УДК 004.056

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ КАК НЕОТЪЕМЛЕМЫЙ АТРИБУТ МНОГОУРОВНЕВОГО ЗАЩИЩЕННОГО КИБЕРПРОСТРАНСТВА

Статья поступила в редакцию 22.05.2020, в окончательном варианте – 11.09.2020.

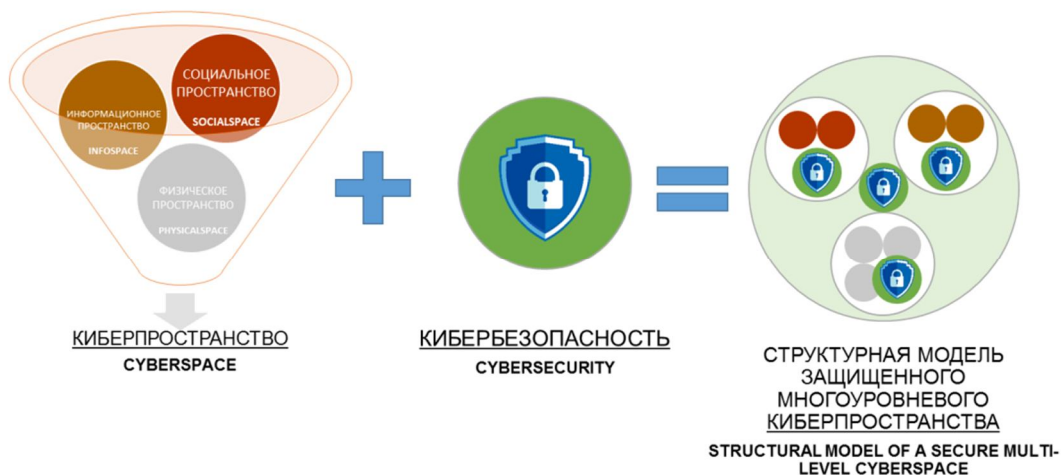
Путято Михаил Михайлович, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, кандидат технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9974-7144>, e-mail: putyato.m@gmail.com

Макарян Александр Самвелович, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, кандидат технических наук, доцент, e-mail: msanya@yandex.ru

В статье выполнен системный анализ ряда вопросов, связанных с проблематикой защищенного кибернетического пространства: дана характеристика понятия защищенного кибернетического пространства, приведены его характеристики, указаны границы, представлена структура и многоуровневая структурная модель. Предложена классификация киберугроз на 2020 г. Определено место и роль кибербезопасности в качестве неотъемлемого атрибута каждой структурной единицы, обеспечивающей защищенность кибернетического пространства. Проанализированы работы авторов, относящихся к тематике статьи. Для определения стратегии противодействия киберугрозам сформирована структура защищенного многоуровневого кибернетического пространства. В статье она представлена в виде структурной многоуровневой модели в нотации BPMN 2.0 и включает в себя социальное, физическое и информационное пространства. Для них неотъемлемым атрибутом является обеспечение кибербезопасности, определяющей, в том числе, конфиденциальность, целостность и доступность информации, представленной в цифровом виде. Для каждого уровня описаны структурные элементы, объекты и субъекты, которые в непрерывном взаимодействии друг с другом обеспечивают существование многоуровневого защищенного кибернетического пространства.

Ключевые слова: кибербезопасность, киберугрозы, цифровое информационное пространство, защищенное киберпространство, информационная безопасность, модель взаимосвязи открытых систем, цифровая личность, цифровая граница, BPMN 2.0

Графическая аннотация (Graphical annotation)



CYBER SECURITY AS AN ESSENTIAL ATTRIBUTE
OF MULTILEVEL PROTECTED CYBER SPACE

The article was received by the editorial board on 22.05.2020, in the final version – 11.09.2020.

Putyato Michael M., Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Cand. Sci (Engineering), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9974-7144>, e-mail: putyato.m@gmail.com

Makaryan Alexander S., Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Cand. Sci (Engineering), Associate Professor, e-mail: msanya@yandex.ru

The article provides a systematic analysis of a number of issues related to the problem of protected cybernetic space: the concept of protected cybernetic space is characterized, its characteristics are given, borders are specified, and the structure and multi-level structural model are presented. The classification of cyber threats for 2020 is proposed. The place and role of cybersecurity as an integral attribute of each structural unit ensuring the security of the cybernetic space is defined. The authors' works related to the subject of the article are analyzed. To determine the strategy for countering cyber threats, the structure of a protected multi-level cybernetic space was formed. In the article, it is presented as a structural multi-level model in BPMN 2.0 notation and includes social, physical and information spaces. For them, an integral attribute is ensuring cybersecurity, which determines, among other things, the confidentiality, integrity and availability of information presented in digital form. For each level, structural elements, objects and subjects are described, which in continuous interaction with each other ensure the existence of a multi-level protected cybernetic space.

Keywords: cybersecurity, cyber threats, digital information space, protected cyberspace, information security, open systems interconnection model, digital identity, digital border, BPMN 2.0

Введение. В условиях современного развития информационных цифровых сред в области информационной безопасности и защиты информации происходят трансформация и расширение определений и понятий, являющихся основополагающими в этой области. Информация, информационная среда, в которой она циркулирует, сформированное ими информационное пространство (ИПр), а впоследствии и единое информационное пространство переходят в цифровой вид. Стихийно развивающиеся цифровые процессы порождают большое количество сложных и мало связанных между собой цифровых систем: данные массово переводятся в цифровой вид и сливаются в единые базы данных без обеспечения необходимого уровня контроля и категоризации.

Такая ситуация приводит к необходимости углубленного анализа ситуации и необходимости разработки системы мер по обеспечению необходимого уровня информационной безопасности (ИБ). Однако эти вопросы в существующей литературе рассмотрены недостаточно комплексно. Поэтому целью данной работы было устранение указанного недостатка.

Общая характеристика предметной области исследований. Процесс цифровизации предполагает, что к данным может обращаться любой процесс или система. Поэтому подтверждение и поддержка легитимности доступа и защиты современной архитектурой ИБ, с классическим подходом к реализации системы защиты, становится все более затруднительной.

На первое место выходят угрозы ИБ, структура, форма и методы реализации которых сосредоточены в той части ИПр, где данные передаются, обрабатываются и хранятся в цифровом виде. Появление новейших информационных технологий и систем, развитие и расширение функций социальных сетей, внедрение в социальные сети различных сервисов и их алгоритмизация формируют не просто отдельную систему внутри ИПр, а отдельную область – киберпространство (КПр). Так как КПр – это частный случай ИПр, то все характеристики последнего применимы и к КПр. Однако ввиду долгосрочного развития КПр, как неконтролируемой самостоятельно развивающейся среды, применить характеристики киберпространства к ИПр нельзя.

Аналогично информационному пространству, для информации в КПр существуют угрозы ИБ, которые могут нарушать доступность, целостность и конфиденциальность данных. Такие угрозы в терминологии, соответствующей рассматриваемой теме, называются киберугрозами. Согласно экспертным оценкам, прогнозы по преобладающим сферам киберугроз на начало 2020 г. [5, 14] представлены на рисунке 1.

Киберугрозы, представленные ниже, весьма разнообразны и по объекту воздействия, и по способам реализации. Однако все они направлены на КПр. Для использования средств предупреждения, выявления и устранения кибернетических угроз определено понятие «кибербезопасность».



Рисунок 1 – Классификация видов киберугроз на 2020 г.

Для противодействия киберугрозам необходимо четко представлять структуру и взаимосвязи компонентов киберпространства. Это позволит обеспечить необходимый уровень кибербезопасности каждого из компонент и кибернетического пространства в целом.

Управление субъектами киберпространства играет определяющую роль в возникновении, существовании и поддержке его основных свойств:

- многочисленность элементов;
- множество взаимных связей между ними;
- возможность применения специальных техник управления действиями этих элементов.

Указанные свойства определяют процессы развития киберугроз [4] и объективную необходимость внедрения средств обеспечения кибербезопасности.

Авторами в статье предложены определения, характеристики, границы и многоуровневая структурная модель КПр, где для каждого уровня определен процесс обеспечения кибербезопасности.

Определение понятий «киберпространство» и «кибербезопасность». Понятие киберпространства достаточно многогранно с точки зрения сформулированных и предложенных определений в различных областях научных исследований. В научном дискурсе насчитывается порядка 28-ми определений этого понятия. В основном различие или сходство определений обусловлено точкой зрения авторов и «плоскостью» рассмотрения проблемной области. Основные понятия могут быть представлены в виде следующих формулировок, основанных на [10, 11, 12, 13, 16], а также аналогичных по содержанию определениях в [9].

1. **Киберпространство** – это совокупность взаимосвязанных компонентов в виде информационных процессов или явлений со специфическими пространственно-временными характеристиками с носителем в форме компьютера или другого электронного устройства на базе информационно-телекоммуникационных сетей, преимущественно интернета, взаимодействие которых между собой оценивается соответствующей метрикой.

2. Киберпространство – среда, включающая три составляющих [1, 2, 4]:

2.1. Информационный аспект – статическая и динамическая информация в цифровом виде.

2.2. Физический аспект – аппаратно-программная и техническая инфраструктуры, обеспечивающие сбор, обработку, хранение и передачу данных.

2.3. Социальный аспект – информационное взаимодействие субъектов с использованием информации и инфраструктуры.

Международный стандарт ISO/IEC 27032:2012 [19] дает следующее определение понятию КПр.

Киберпространство (кибернетическое пространство) – комплексная виртуальная среда (не имеющая физического воплощения), сформированная в результате действий людей, программ и сервисов в интернете посредством соответствующих сетевых и коммуникационных технологий.

Так как понятие «киберпространство» до конца юридически и законодательно не определено, то в рамках текущего исследования и в дальнейшем мы будем использовать следующее обобщенное определение.

Киберпространство – это управляемое масштабируемое цифровое пространство, сформированное в результате непрерывного взаимодействия субъектов физического, информационного и социального пространств в отношении сбора, обработки, хранения и передачи данных в цифровом виде.

Понятие киберугрозы пока не определено на уровне официальных документов или стандартов. Поэтому возьмем за основу экспертное мнение от специалистов по информационной безопасности [15].

Киберугроза – это незаконное проникновение или угроза вредоносного проникновения в виртуальное пространство для достижения политических, социальных или иных, целей.

По аналогии с безопасностью информации для информационного пространства, для киберпространства вводится определение «кибербезопасность».

Международный стандарт ISO/IEC 27032:2012 [19] дает следующее определение этого термина.

Кибербезопасность – свойство защищенности активов от угроз конфиденциальности, целостности, доступности в киберпространстве.

При этом есть более широкое определение этого понятия, а также понятий доступности, целостности, конфиденциальности согласно ГОСТ Р 56205-2014 IEC/TS 62443-1-1:2009 [17].

Кибербезопасность – действия, необходимые для предотвращения неавторизованного использования, отказа в обслуживании, преобразования, рассекречивания, потери прибыли или повреждения критических систем или информационных объектов. Кибербезопасность включает в себя понятия идентификации, аутентификации, отслеживаемости, авторизации, доступности и приватности (целостности, доступности и конфиденциальности).

В дальнейшем исследовании будем использовать определение кибербезопасности, представленное в ГОСТе, так как, по нашему мнению, оно дает наиболее полное и развернутое описание этого понятия.

Характеристики и границы киберпространства. Как и любое пространство, КПр должно иметь границы и определенные характеристики (показатели), позволяющие судить о его состоянии. Развернутая сетевая структура и множество взаимосвязей объектов КПр позволяют функционировать различным уровням взаимодействия, где возникают точки соприкосновения виртуальных коммуникаций. Они выражаются процедурами трансляции образов, текстовой и символьной передачей. При этом достигаются такие требования к комфортному участию, как мобильность, компактность, анонимность, распределенность ресурсов и связей [2].

Область киберпространства можно определить границами множества цифровых систем и устройств, которые работают с данными в рамках его инфраструктуры. При этом важной составляющей такой работы является обеспечение конфиденциальности, целостности и доступности информации в пределах КПр.

Устойчивые и безопасные связи обеспечивают успешное и непрерывное существование КПр; способность передавать, получать и обрабатывать информацию с сохранением ее семантических качеств и свойств. В то же время наличие механизмов управления формирует интеллектуальную основу поведения при дестабилизирующих воздействиях и угрозах на КПр.

С точки зрения национальной безопасности и суверенности государства отсутствие четко определенных границ КПр влечет серьезные угрозы. При этом возрастает вероятность проникновения типичных угроз нижнего уровня на верхний уровень функционирования элементов КПр. Таким образом, задавая четкую конфигурацию, мы можем выставить определенные виртуальные границы устройств, систем, уровней. Это в конечном итоге позволит говорить о совпадении физических, административных и цифровых границ КПр [1, 3, 4].

По нашему мнению, для киберпространства спектр основных характеристик включает в себя оценки показателей безопасности, доступности, непрерывности, масштабируемости, мобильности и разнородности.

Вышеописанные подходы к определению границ КПр опираются на инфраструктурные и технологические средства, тогда как непосредственное взаимодействие с ними человека не учитывается. Если же учесть такое взаимодействие, то границы КПр будут шире, охватывать каждого отдельного человека – и как «источника», и как «получателя» информации в цифровом виде в течение времени взаимодействия с устройствами.

Структурная модель киберпространства. На данный момент не представляется возможным определить подробную структуру КПр с учетом всех его характеристик. В изученных нами структурных схемах киберпространства определение составляющих его элементов, как правило, имеет локальный характер, а структуризация проводится в целях решения общей задачи научного исследования. Проведем сравнение и обобщение определений для представленных в литературе структур:

1. Структура киберпространства представляет собой абстрактную кибернетическую систему, состоящую из множества взаимосвязанных объектов, называемых элементами системы, способных воспринимать, хранить и перерабатывать информацию, а также обмениваться информацией [1].

2. Киберпространство – гибкий и подвижный гибрид физического и социального пространства, зависящий от функционирования информационно-коммуникационных сетей. Киберпространство является местом или пространством, которое контролирует существование и работу взаимосвязанных сетей компьютеров [2].

3. Структура киберпространства является многоуровневой, построенной на основе модели ISO/OSI или TCP/IP [4] (рис. 2).

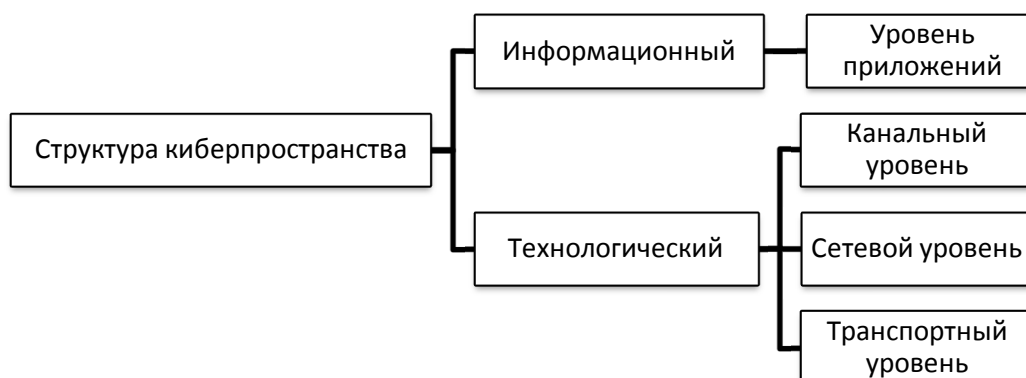


Рисунок 2 – Структура киберпространства по [4]

4. Структура социокиберфизической системы состоит из 4-х уровней [6] (рис. 3).

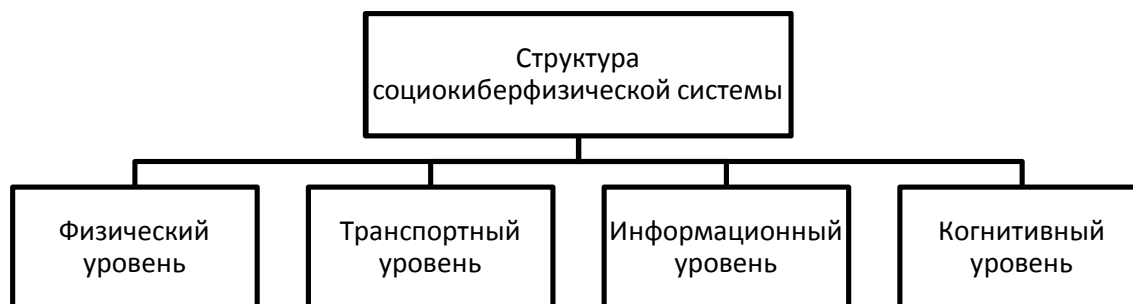


Рисунок 3 – Структура социокиберфизической системы [6]

Данная структура социокиберфизической системы, как и сама система, не ассоциируется автором с киберпространством. При этом функции и задачи этих структур достаточно схожи. Поэтому мы считаем возможным добавить указанную структуру к остальным.

Представленные структурные схемы КПр отражают его суть. Однако они недостаточно подробно определяют его для целей дальнейших исследований. Ввиду этого предложим модифицированную структуру КПр и структурную модель, построенную в нотации BPMN 2.0. Исходя из сформулированного определения, киберпространство охватывает три области: физическое, информационное и социальное пространства (рис. 4, 5).

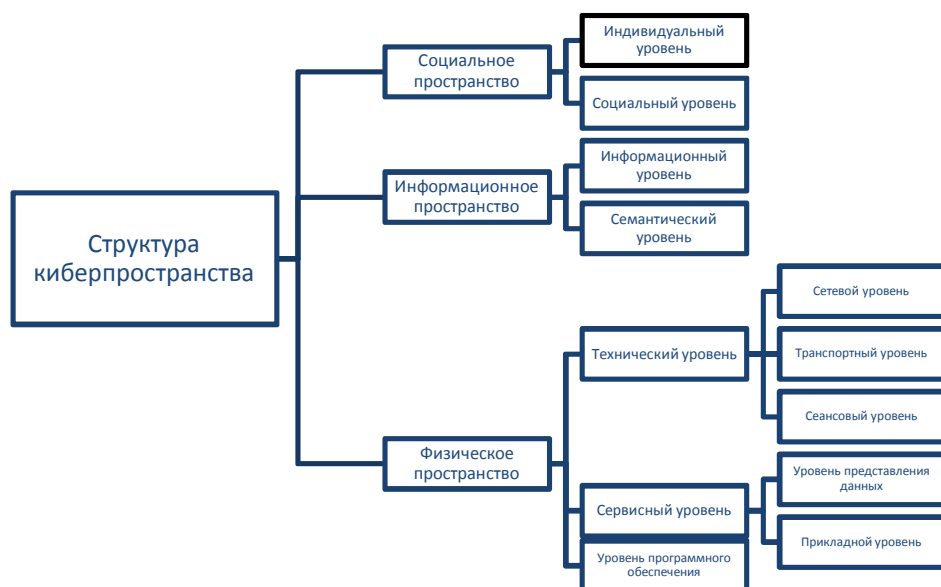


Рисунок 4 – Модифицированная иерархическая структура киберпространства

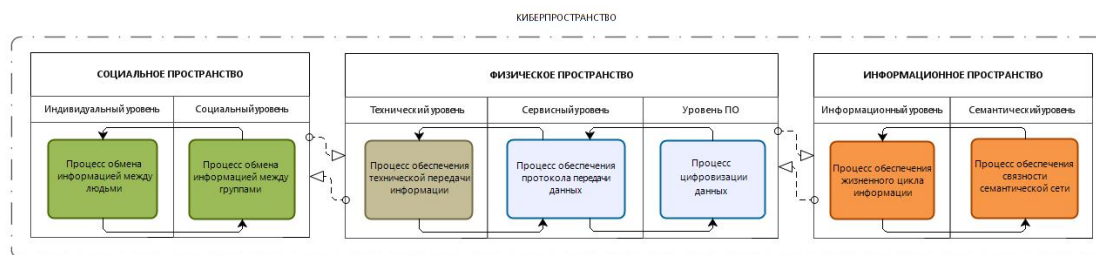


Рисунок 5 – Структурная модель киберпространства в нотации BPMN 2.0

Физическое пространство можно определить через программно-аппаратную инфраструктуру взаимосвязи открытых систем (ВОС), регламентированную ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1-99 [18]. Подобный подход с использованием модели ISO/OSI, схожей по составу с ВОС, был представлен одним из исследователей ранее [4]. Однако для описания роли физического пространства как канала доступа к КПр, определим дополнительный уровень программного обеспечения, который формирует возможности взаимодействия с другими элементами.

Технический уровень позволяет определить субъект физического пространства как *устройство*, а объект – как *пакет данных*.

Сервисный уровень позволяет определить субъект физического пространства как *интерфейс*, а объект – как *протокол*.

Уровень программного обеспечения позволяет определить субъект физического пространства как *приложение*, а объект – как *цифровые данные*.

Информационное пространство включает обобщенный информационный уровень и семантический уровень. Информационный уровень представлен в структуре социкиберфизической системы [6, 7, 8] и в структуре КПр [4].

Информационный уровень позволяет определить субъект информационного пространства как *базу данных*, а объект – как *блок данных*.

Семантический уровень позволяет определить субъект информационного пространства как *базу знаний*, а объект – как *семантический блок*.

Социальное пространство включает персональный уровень и социальный уровень.

Индивидуальный (персональный) уровень позволяет определить субъект социального пространства как *человека*, а объект – как *сообщение*.

Социальный уровень позволяет определить субъект социального пространства как *социальную группу*, а объект – как *сообщение*.

Представленная структурная модель позволяет перейти к определению контроля целостности, конфиденциальности и доступности информации для каждого уровня, процесс обеспечения безопасности которых формирует понятие защищенного киберпространства.

Структурная модель защищенного киберпространства. Опираясь на предложенную структурную модель, добавим уровень кибербезопасности, в котором организован непрерывный процесс обеспечения состояния защищенности информации в КПр (рис. 6).

В рамках непрерывного процесса обеспечения кибербезопасности опишем процессы для каждого из структурных элементов.

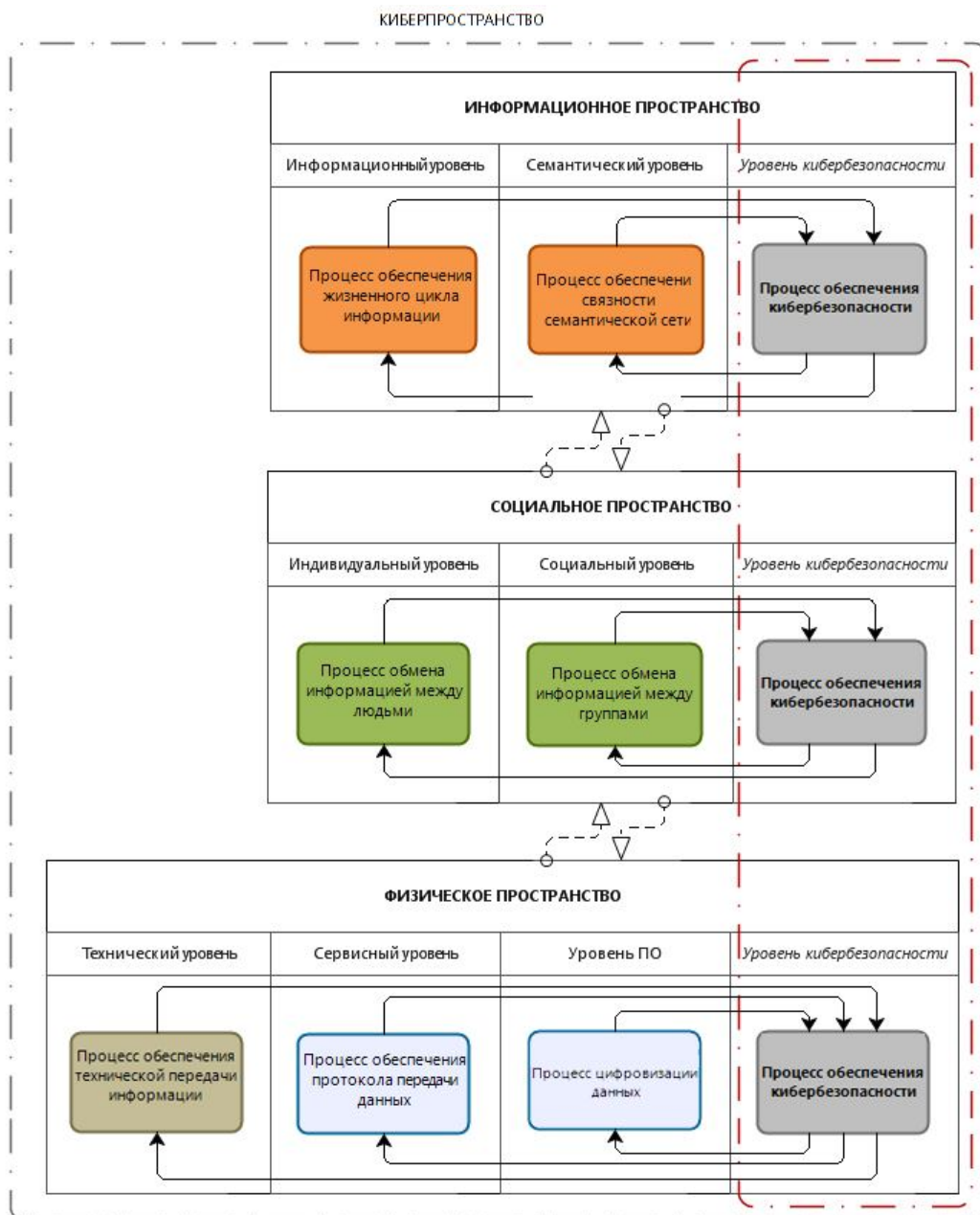


Рисунок 6 – Структурная модель защищенного киберпространства в нотации BPMN 2.0

Социальное пространство реализует информационный обмен на индивидуальном и социальном уровнях, а также между ними, формируя *процесс обмена информацией*. При этом на *индивидуальном уровне* происходит общение между людьми, а на *социальном уровне* – между социальными группами.

Физическое пространство объединяет три уровня: на *техническом уровне* реализуется *процесс технической передачи информации*, на *сервисном уровне* – *процесс обеспечения протокола передачи данных*, а на *уровне программного обеспечения* – *процесс цифровизации данных*. При этом обмен данными происходит при участии всех указанных уровней.

Информационное пространство реализует этапы обработки информации на информационном и семантическом уровнях, формируя при этом процесс обеспечения жизненного цикла информации на информационном уровне и процесс обеспечения связности семантической сети на семантическом уровне.

Для каждого из пространств определен уровень кибербезопасности. Составляющие процесса обеспечения кибербезопасности интегрируются в существующие процессы на этом уровне, поддерживая на необходимом уровне конфиденциальность, целостность и доступность информации.

Выводы. В статье дано авторское определение понятия киберпространства, основанное на опубликованных результатах исследований по этой теме. Также выбрано определение кибербезопасности, что обеспечивает возможности формулирования подходов, направленных на предупреждение, выявление и устранение кибернетических угроз.

Для определения стратегии противодействия киберугрозам представлены характеристики, определены границы и сформирована структура защищенного многоуровневого киберпространства.

Характеристиками КПр являются безопасность, доступность, непрерывность, масштабируемость, мобильность и разнородность.

Границы КПр вариативны и охватывают каждого отдельного человека как «источника», так и «получателя» информации в цифровом виде в течение времени взаимодействия с устройствами.

Обеспечение необходимого уровня кибербезопасности и формирование защищенного многоуровневого КПр представлено в виде многоуровневой модели с использованием нотации BPMN 2.0.

Структурная модель защищенного КПр включает в себя социальное, физическое и информационное пространства. Для каждого из них неотъемлемым атрибутом является кибербезопасность.

Библиографический список

1. Безкорвайный М. М. Кибербезопасность и подходы к определению понятия / М. М. Безкорвайный, А. Л. Татузов // Вопросы кибербезопасности. – 2014. – № 1 (2). – С. 22–27.
2. Добринская Д. Е. Киберпространство: территория современной жизни / Д. Е. Добринская // Вестник Московского университета. Серия 18. Социология и политология. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 52–70.
3. Мещеряков Р. В. Информационные иерархические системы / Р. В. Мещеряков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2009. – Т. 314, № 5. – С. 151–154.
4. Пилюгин П. Л. Проблемы определения границ в информационном пространстве / П. Л. Пилюгин // Т-Comm – Телекоммуникации и транспорт. – 2017. – Т. 11, № 8. – С. 37–44.
5. Прогноз развития киберугроз и средств защиты информации 2020. – Режим доступа: https://www.antimalware.ru/analytics/Threats_Analysis/cyber-threats-and-security-tools-evolving-2020-forecast#part21, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 26.03.2020).
6. Смирнов А. В., Теоретические основы построения социокриберфизических систем / А. В. Смирнов, В. В. Безручко, О. О. Басов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2019. – Т. 46, № 3. – С. 532–539.
7. Смирнов А. В. Приобретение знаний в социокриберфизических системах в процессе информационного взаимодействия ресурсов / А. В. Смирнов, Т. В. Левашова // Информационно-управляющие системы. – 2017. – № 6. – С. 113–122.
8. Смирнов А. В. Модели поддержки принятия решений в социокриберфизических системах / А. В. Смирнов, Т. В. Левашова // Информационно-управляющие системы. – 2019. – № 3. – С. 55–70.
9. Тонконогов А. В. Кибернетическое общество как реальность XXI века / А. В. Тонконогов // Закон и право. – 2018. – № 9. – С. 23–26.
10. Хаханов В. И. Развитие киберпространства и информационная безопасность / В. И. Хаханов, С. В. Чумаченко, Е. И. Литвинова, А. С. Мищенко // Радиоелектроніка, інформатика, управління. – 2013. – № 1. – С. 151–157.
11. Хаханов В. И. Метрика алгебры векторной логики для кибернетического пространства / В. И. Хаханов, А. С. Мищенко, В. В. Варца // Радиоелектроніка і інформатика. – 2010. – № 3. – С. 39–42.
12. Хаханов В. И. Эволюция кибернетического пространства / В. И. Хаханов, А. В. Хаханова, В. В. Закарян // Радиоелектроніка і інформатика. – 2010. – № 2. – С. 61–67.
13. Хаханов В. И. Инфраструктура диагностирования вредоносных программ в индивидуальном кибернетическом пространстве / В. И. Хаханов, С. В. Чумаченко, А. С. Мищенко, А. В. Зацарный, Ю. В. Хаханова // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2010. – № 153. – С. 19–32.
14. Positive technologies. Кибербезопасность 2019–2020: тенденции и прогнозы, Москва, 2019. – Режим доступа: <https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ru-ru/analytics/cybersecurity-2019-2020-rus.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 29.03.2020).
15. Technologies P. Киберугроза. 2020. – Режим доступа: <https://www.securitylab.ru/news/tags/%D0%BA%D0%B8%D0%B1%D0%B5%D1%80%D1%83%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B0/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 15.04.2020).
16. Yves T. Актуальные проблемы анализа киберпространства / Т. Yves, С. В. Чумаченко, В. И. Хаханов // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2011. – № 154. – С. 59–75.
17. ГОСТ Р 56205-2014 IEC/TS 62443-1-1:2009. Сети коммуникационные промышленные. Защищенность (кибербезопасность) сети и системы. Ч. 1-1. Терминология, концептуальные положения и модели. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 81 с.

18. ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1-99. Информационная технология (ИТ). Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. Ч. 1. Базовая модель. – Москва : Госстандарт России, 2006. – 58 с.
19. ISO/IEC 27032:2012. Information technology – Security techniques – Guidelines for cybersecurity. – Germany : JTC 1/SC 27, 2012. – 58 p.

References

1. Bezkorovaynyy M. M., Tatuzov A. L. Kiberbezopasnost I podkhody k opredeleniyu ponyatiya [Cybersecurity and approaches to defining a concept]. *Voprosy kiberbezopasnosti* [Cybersecurity Issues], 2014, no. 1 (2), pp. 22–27.
2. Dobrinskaya D. E. Kiberprostranstvo: territoriya sovremennoy zhizni [Cyberspace: the territory of modern life]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 18. Sotsiologiya i politologiya* [Moscow University Bulletin. Series 18. Sociology and Political Science], 2018, vol. 24, no. 1, pp. 52–70.
3. Meshcheryakov R. V. Informatsionnye ierarhicheskie sistemy [Information hierarchical systems]. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering], 2009, vol. 314, no. 5, pp. 151–154.
4. Pilyugin P. L. Problemy opredeleniya granits v informatsionnom prostranstve [Problems of defining boundaries in the information space]. *T-Comm – Telekomunikatsii i Transport* [T-Comm – Telecommunications and Transport], 2017, vol. 11, no. 8, pp. 37–44.
5. *Prognoz razvitiya kiberugroz i sredstv zashchity informatsii 2020* [Cyber Threats and Information Security Forecast 2020], 2019. Available at: https://www.anti-malware.ru/analytics/Threats_Analysis/cyber-threats-and-security-tools-evolving-2020-forecast#part21 (accessed 26.03.2020)
6. Smirnov A. V., Bezruchko V. V., Basov O. O. Teoreticheskiye osnovy postroyeniya sotsiokiberfizicheskikh system [Theoretical foundations of building sociocyberphysical systems]. *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika* [Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Economics. Informatics], 2019, vol. 46, no. 3, pp. 532–539.
7. Smirnov A. V., Levashova T. V. Priobreteniy znanii v sotsiokiberfizicheskikh sistemakh v protsesse informatsionnogo vzaimodeystviya resursov [Acquisition of knowledge in sociocyberphysical systems in the process of information interaction of resources]. *Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy* [Information and Control Systems], 2017, no. 6, pp. 113–122.
8. Smirnov A. V., Levashova T. V. Modeli podderzhki prinyatiya resheniy v sotsiokiberfizicheskikh sistemakh [Decision support models in sociocyberphysical systems]. *Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy* [Information and Control Systems], 2019, no. 3, pp. 55–70.
9. Tonkonogov A. V. Kiberneticheskoye obshchestvo kak realnost XXI veka [Cybernetic society as a reality of the XXI century]. *Zakon i pravo* [Law and Legislation], 2018, no. 9, pp. 23–26.
10. Khakhanov V. I., Chumachenko S. V., Litvinova Ye. I., Mishchenko A. S. Razvitiye kiberprostranstva i informatsionnaya bezopasnost [Cyberspace development and information security]. *Radioelektronika, informatika, upravlinnya* [Radioelectronics, Informatics, Management], 2013, no. 1, pp. 151–157.
11. Khakhanov V. I., Mishchenko A. S., Varetza V. V. Metrika algebr vektornoy logiki dlya kiberneticheskogo prostranstva [Metric of the algebra of vector logic for cybernetic space]. *Radioelektronika i informatika* [Radioelectronics and Informatics], 2010, no. 3, pp. 39–42.
12. Khakhanov V. I., Khakhanova A. V., Zakaryan V. V. Evolyutsiya kiberneticheskogo prostranstva [Evolution of cybernetic space]. *Radioelektronika i informatika* [Radioelectronics and informatics], 2010, no. 2, pp. 61–67.
13. Khakhanov V. I., Chumachenko S. V., Mishchenko A. S., Zatsarnyy A. V., Khakhanova Yu. V. Infrastruktura diagnostirovaniya vredonosnykh programm v individualnom kiberneticheskom prostranstve [Infrastructure for diagnosing malware in the individual cyber space]. *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya i pribory avtomatiki* [Automated control systems and automation devices], 2010, no. 153, pp. 19–32.
14. *Positive technologies. Kiberbezopasnost 2019–2020: tendentsii i prognozy* [Cybersecurity 2019–2020: Trends and Forecasts], 2019. Available at: <https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ru-ru/analytics/cybersecurity-2019-2020-rus.pdf> (accessed 29.03.2020).
15. Technologies P. *Kiberugroza* [Cyber threat], 2020. Available at: <https://www.securitylab.ru/news/tags/%D0%BA%D0%B8%D0%B1%D0%B5%D1%80%D1%83%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B0/> (accessed 15.04.2020)
16. Yves T., Chumachenko S. V., Khakhanov V. I. Aktualnyye problemy analiza kiberprostranstva [Actual problems of cyberspace analysis]. *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya i pribory avtomatiki* [Automated control systems and automation devices], 2011, no. 154, pp. 59–75.
17. GOST R 56205-2014 IEC/TS 62443-1-1:2009. *Seti kommunikatsionnyye promyshlennyye. Zashchishchenost (kiberbezopasnost) seti i sistemy. Chast 1-1. Terminologiya, kontseptualnyye polozheniya i modeli* [GOST R 56205-2014 IEC / TS 62443-1-1: 2009 Industrial communication networks. Security (cybersecurity) of the network and system. Part 1-1. Terminology, conceptual provisions and models.]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 81 p.
18. GOST R ISO/MEK 7498-1-99. *Informatsionnaya tekhnologiya (IT). Vzaimosvyaz otkrytykh sistem. Bazovaya etalonnaya model. Chast 1. Bazovaya model* [GOST R ISO / IEC 7498-1-99. Information technology (IT). Interconnection of open systems. Basic reference model. Part 1. Basic model]. Moscow, Gosstandart of Russia, 2006. 58 p.
19. ISO/IEC 27032:2012. *Information technology – Security techniques – Guidelines for cybersecurity*. Germany, JTC 1/SC 27, 2012. 58 p.

ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 004.8, 004.93'1

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ПЕРСЕПТРОНА НА ВОСЬМИБИТНОМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ

Статья поступила в редакцию 09.05.2020, в окончательном варианте – 05.09.2020.

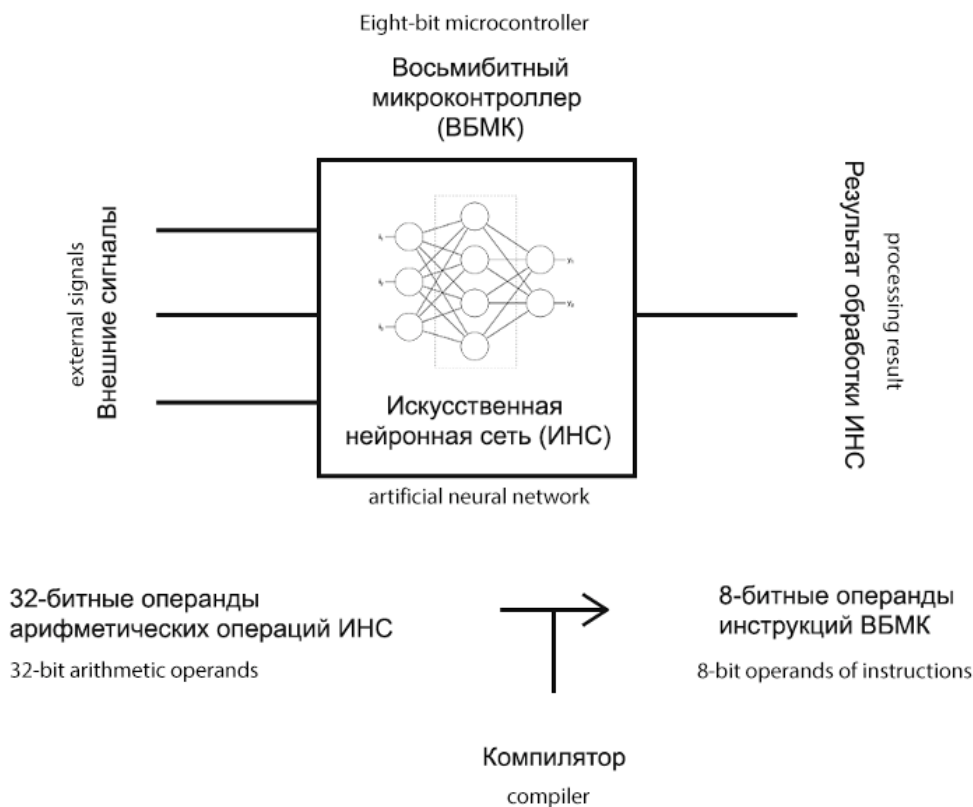
Чернухин Дмитрий Алексеевич, Астраханский государственный технический университет, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, аспирант, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2258-6594>, e-mail: madlabman@mail.ru

Шуришев Валерий Федорович, Астраханский государственный технический университет, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, доктор технических наук, профессор, e-mail: v.shurshev@mail.ru

Большинство современных автономных устройств разрабатывается на базе микроконтроллеров с 32-битной архитектурой. В то же время применение «младшего» семейства (восьмибитных микроконтроллеров) имеет ряд преимуществ: позволяет снизить стоимость компонентов; повысить энергоэффективность устройства, а значит, и время его автономной работы; добиться более высокой надежности устройства. Для определенности рассмотрена программно-аппаратная реализация модели персептрона на основе использования восьмибитных микроконтроллеров. Разработана нейронная сеть для задачи распознавания цифр, отображаемых на семисегментном индикаторе. Использовалась топология персептрона с одним скрытым слоем. Обучение ее производилось методом обратного распространения ошибки. Выделены характеристики нейронной сети, критичные с точки зрения реализации на восьмибитных микроконтроллерах. Разработаны оценки для определения различных параметров нейронной сети для конкретных характеристик восьмибитных микроконтроллеров. Дана оценка скорости реакции сети, построенной на базе восьмибитных микроконтроллеров. Сделан вывод о допустимости и целесообразности использования восьмибитных микроконтроллеров для решения этой и аналогичных задач.

Ключевые слова: восьмибитный микроконтроллер, персептрон, аппаратная реализация нейронной сети, искусственный нейрон, слой, входной сигнал, выходной сигнал, функция активации, сигмоидальная функция, обучающая выборка, операции с числами с плавающей точкой, оценка производительности

Графическая аннотация (Graphical annotation)



REALIZATION OF THE PERCEPTRON MODEL USING AN EIGHT-BIT MICROCONTROLLER

The article was received by the editorial board on 09.05.2020, in the final version – 05.09.2020.

Chernukhin Dmitriy A., Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,
post-graduate student, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2258-6594>, e-mail: madlabman@mail.ru
Shurshev Valeriy F., Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,
Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: v.shurshev@mail.ru

Most modern stand-alone devices are developed on the basis of microcontrollers with 32-bit architecture. At the same time, the use of the "younger" family (eight-bit microcontrollers) has a number of advantages: it allows to reduce the cost of components; to increase the energy efficiency of the device, and, hence, its battery life; achieve higher reliability of the device. For definiteness, a software and hardware implementation of the perceptron model based on the use of an 8-bit microcontroller is considered. A neural network has been developed for the task of recognizing numbers displayed on a seven-segment indicator. A perceptron topology with one hidden layer was used. It was trained using the back-propagation method. Highlighted the characteristics of the neural network, critical from the point of view of implementation on an 8-bit microcontroller. Estimates have been developed to determine various parameters of the neural network for specific characteristics of the 8-bit microcontroller. An assessment of the reaction speed of a network built on the basis of the 8-bit microcontroller is given. The conclusion is made about the admissibility and expediency of using an 8-bit microcontroller for solving this and similar problems.

Keywords: eight-bit microcontroller, perceptron, hardware implementation of a neural network, artificial neuron, layer, input signal, output signal, activation function, sigmoid function, training set, operation with floating point numbers, performance evaluation

Введение. Решение рутинных задач автоматизации и мониторинга, а также задач, требующих оперативной реакции (например, сигнализации о возникновении разного рода событий), возлагается на автономные электронные устройства. Спектр подобных задач потенциально может быть значительно расширен за счет применения методов искусственного интеллекта. Данный подход встретил широкую поддержку среди производителей вычислительных устройств мирового уровня, таких как Nvidia [9] и Qualcomm [12]. По этой причине становится привлекательной идея реализации ИС с помощью автономных электронных устройств.

Большинство современных автономных электронных устройств разрабатывается на базе микроконтроллеров с 32-битной архитектурой. Выбор данного семейства микроконтроллерных устройств в некоторых случаях обусловлен предрассудками относительно использования решений с 8- или 16-битной архитектурой [7, 10]. На практике же применение «младшего» семейства микроконтроллеров позволяет сделать следующее: снизить стоимость компонентов; повысить энергоэффективность устройства и, как следствие, время его автономной работы; добиться более высокой надежности устройства.

Для демонстрации возможностей и особенностей применения восьмибитных микроконтроллеров (ВБМК) в данной статье используется задача программно-аппаратной реализации искусственной нейронной сети (ИНС), используемой для распознавания символов на семисегментном цифровом индикаторе. Это и является целью данной работы.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Рассмотреть характеристики ИНС, критичные с точки зрения ее реализации с помощью ВБМК.
2. Разработать оценки реализуемости ИНС с заданными характеристиками на конкретном микроконтроллере.
3. Произвести экспериментальные исследования работы ИНС, построенной на ВБМК

Персептрон. Он является одной из простейших моделей ИНС. Данный тип сети состоит из одного или нескольких слоев нейронов – чувствительных элементов, имеющих ряд входов и единственный выход [6]. Входные сигналы нейрона суммируются с учетом весов для отдельных входов. К полученной сумме применяется та или иная функция, называемая передаточной или активационной функцией. Эта функция описывает реакцию нейрона на поступившие сигналы. Простейшим примером является пороговая функция, приводящая нейрон в возбужденное состояние при условии превышения суммой входных сигналов определенного (задаваемого) порогового значения. В таком случае выход нейрона принимает одно из двух значений, как правило, 0 или 1. Для получения непрерывных значений на выходе нейрона в качестве функции активации применяется некоторая нелинейная функция. В зависимости от характера связей и количества скрытых слоев различают несколько типов персептронов. Обобщенная графическая модель персептрона с одним скрытым слоем представлена на рисунке 1.

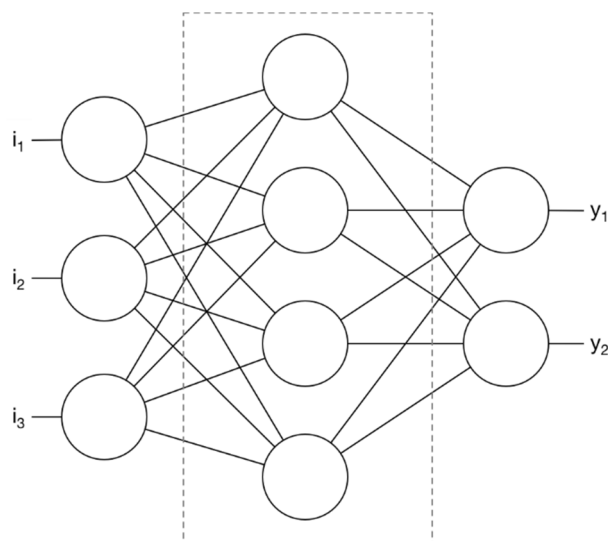


Рисунок 1 – Графическая модель персептрона с одним скрытым слоем

Для получения желаемого выходного сигнала в зависимости от определенных входных значений применяется обучение ИНС, которое заключается в корректировке синаптических весов. В зависимости от типа персептрона используются различные методики подбора весовых коэффициентов. Так, для однослойной сети разработаны алгоритмы, позволяющие реализовать заданную функцию без перебора значений весов. Для многослойной архитектуры наиболее широко применяемым способом обучения является «метод обратного распространения ошибки» [6].

Однослойные ИНС имеют относительно узкую область применения из-за ограничения линейной разделимости входных значений. Для решения этой проблемы идея однослойного персептрона была развита путем добавления слоя или слоев нейронов, названных скрытыми, между входным и выходными слоями. При такой архитектуре сети применение модели персептрона возможно для решения более широкого круга задач. В частности, доказана возможность реализации любой заданной функции с помощью персептрона [6].

Параметры персептрона. Для того чтобы выделить критичные элементы персептрона с точки зрения аппаратной реализации на основе ВБМК, удобно ориентироваться на конкретную практическую задачу. Для определенности мы выбрали пример распознавания десятичной цифры, отображаемой на семисегментном индикаторе, подобном приведенному на рисунке 2.

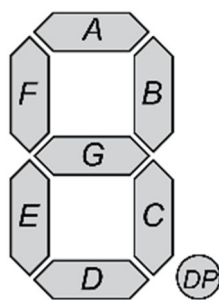


Рисунок 2 – Схема семисегментного индикатора

На рисунке также присутствует восьмой сегмент – точка. Так как точка не является элементом какой-либо цифры, то этот сегмент может быть использован для дополнительной индикации, например, для показа состояния ИНС.

Входными данными для персептрона являются 7 бинарных значений, которые кодируют представление цифры на семисегментном индикаторе. При этом значение «1» означает свечение соответствующего сегмента индикатора, а значение «0» – его отсутствие.

Выходными данными персептрона является двоичное представление числа, закодированного для воспроизведения на семисегментном индикаторе. Диапазон отображаемых значений по определению $[0; 9]$. Для двоичного представления данного множества требуется, как минимум, 4 бита, так как $2^3 = 8$. Однако этого недостаточно для отображения необходимых 10 значений. В то же

время $2^4 = 16$ – такое число возможных значений покрывает (причем с избытком) весь заданный диапазон. Каждый бит входных и выходных данных ставится в соответствие нейронам входного и выходного слоев соответственно. В таблице 1 приведены битовые значения для цифр от 0 до 9, закодированные для их воспроизведения на семисегментном индикаторе, приведенном на рисунке 2, в следующем порядке: GFABCDE, а также соответствующие им выходные значения. Такой порядок вывода данных на индикатор связан исключительно с удобством подключения последнего при разработке прототипа на «беспаячной» макетной плате. При необходимости этот порядок может быть изменен произвольным образом.

Таблица 1 – Таблица истинности для элементов индикатора

Цифра	Вход							Выход			
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
2	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0
3	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1
4	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
5	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1
6	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0
7	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
9	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1

Для демонстрации будет построен персептрон с одним скрытым слоем. Он был выбран в силу его простоты и эффективности. Исходя из определений диапазонов входных и выходных данных, в разрабатываемой ИНС используются: входной слой, состоящий из 7-ми нейронов; выходной слой, состоящий из 4-х нейронов; скрытый слой, состав которого требуется определить.

Выбор размера скрытого слоя персептрона является задачей, как правило, эмпирического характера. Однако разработаны некоторые теоретические рекомендации, позволяющие дать пограничные (для границ интервала) оценки для целесообразного количества нейронов в скрытом слое.

Так, теорема Хехт – Нильсена [2] доказывает представимость функции многих переменных достаточно общего вида с помощью ИНС с прямыми полными связями (рис. 1) с n компонентами входного сигнала, $2n+1$ компонентами скрытого слоя с заранее известными ограниченными функциями активации (например, сигмоидальными) и m компонентами второго слоя с неизвестными функциями активации. Тогда для заданного $n = 7$ получаем число нейронов скрытого слоя, равное $2 \times 7 + 1 = 15$ (оценка «первым» методом).

На основании теорем Арнольда – Колмогорова [2] и Хехт – Нильсена предложена также оценка необходимого числа нейронов в скрытых слоях на основе числа требуемых нейронных связей.

Формула (1) описывает неравенство, определяющее искомое число нейронных связей:

$$\frac{N_y \times Q}{1 + \log_2 Q} \leq N_w \leq N_y \times \left(\frac{Q}{N_x} + 1 \right) (N_x + N_y + 1) + N_y, \quad (1)$$

где Q – размер обучающей выборки; N_x – число нейронов входного слоя; N_y – число нейронов выходного слоя. Для данной статьи примем Q равным 32 для простоты логарифмирования, а также исходя из допущения о том, что трех записей выборки для каждого из значений выходного множества достаточно для корректного обучения персептрона.

Произведем оценку по формуле (1):

$$\frac{4 \times 32}{1 + \log_2 32} \leq N_w \leq 4 \times \left(\frac{32}{7} + 1 \right) (7 + 4 + 1) + 7,$$

$$22 \leq N_w \leq 264.$$

Приняв число нейронных связей за среднее арифметическое полученных пограничных оценок (границ интервала), рассчитаем число нейронов скрытого слоя в ИНС по формуле (2):

$$N = \frac{N_w}{N_x + N_y},$$

$$N = \frac{22 + 264}{2 \times (7 + 4)} = 13. \quad (2)$$

Это результат оценки числа нейронов в скрытом слое «вторым» методом.

Исходя из вышеприведенных вычислений, определяем, что оценки, полученные обоими методами, являются сопоставимыми. Для разрабатываемого персептрона выберем поэтому число нейронов скрытого слоя, равное 15.

Можно отметить, что для такой тривиальной задачи (напомним, она носит демонстрационный характер), какая поставлена перед рассматриваемой ИНС, возможно применение предварительно

сгенерированной таблицы соответствия входных и выходных значений. Действительно, для 7 и 4 бит входных и выходных данных требуется 11 бит на запись. Всего записей возможно $2^7 = 128$. Исходя из этого, можно определить общий объем данных в $128 \times 11 = 1408$ бит или 176 байт. Данное количество информации может казаться пренебрежительно малым для современных вычислительных систем. Тем не менее для энергоэффективных встраиваемых электронных систем, к которым относятся микроконтроллеры, данные объемы могут значительно превышать размеры доступной памяти устройства. Отметим, что типичные диапазоны памяти для устройств младшего семейства AVR TINY колеблются в диапазоне 128–512 байт ОЗУ и 128–512 байт ПЗУ.

При этом наиболее важным ограничением становится объем ОЗУ устройства, в пространстве которого потребуется разместить данные для проведения обучения ИНС, построенной на основе ВБМК. Кроме того, такое обучение требует, как правило, определенного времени и вычислительных мощностей для осуществления итераций, необходимых для подбора весовых коэффициентов ИНС. Поэтому наиболее распространенным приемом является предварительный подбор значений весовых коэффициентов ИНС для последующего использования их на микроконтроллере. Для решения этой задачи принято использовать программное обеспечение, эксплуатируемое на ПЭВМ.

Возвращаясь к вопросу размещения «таблицы истинности» для всего поля входных данных ВБМК, следует отметить, что эти данные можно разместить в память устройства, отведенную для инструкций программы. Типичные размеры данного типа памяти значительно превосходят соответствующие размеры ОЗУ и ПЗУ и составляют от 1024 до 8192 байт для семейства устройств AVR TINY. Тем не менее с ростом количества входных и, соответственно, выходных нейронов указанный объем памяти также будет довольно быстро исчерпан. Приведем оценку для демонстрационного варианта. Примем, что в наихудшем случае количество входных нейронов «х» будет равняться количеству выходных нейронов. Тогда получим, что число записей будет равно 2^x , а размер одной записи $2x$. Исходя из этого, определим следующее неравенство:

$$2x \times 2^x > 8192 \times 8.$$

Оно выполняется уже при $x = 12$, что позволит привести таблицу соответствия – например, для символов размером не более чем 3×4 .

В случае хранения весовых коэффициентов ИНС по вышеописанной модели (схеме), размер данных линейно зависит от числа синаптических связей ИНС. В память микроконтроллера записываются весовые коэффициенты, размер (в битах) которых фиксирован. В данной работе он принят равным 32 битам – обоснование этому будет дано далее. Итак, примем то же допущение об одинаковых размерностях входного и выходного слоев ИНС, а размер скрытого слоя равным (согласно теореме Хехт – Нильсена) $2x+1$, где x – размер входного слоя ИНС. Определим число синаптических связей и получим следующее неравенство:

$$32 \times (2x + 1)(x + \log_2 x) \geq 8192 \times 8, \text{ которое выполняется при } x \geq 29.$$

Стоит обратить внимание на то, что размер входных данных ИНС более чем вдвое превышает размеры «таблицы истинности», которая может быть помещена в памяти равного объема. Более того, ИНС способна принимать на вход непрерывные значения, ограниченные точностью используемого формата представления чисел с плавающей точкой. Это значительно расширяет поле (увеличивает объем) входных данных и делает его недостижимым для размещения таблиц истинности в памяти микроконтроллера. Таким образом, для данной демонстрационной задачи становится очевидным целесообразность хранения ограниченного набора значений весовых коэффициентов для решения задач классификации. Аналогичное заключение может быть сделано или многих других задач, для которых может быть применена модель персептрона.

Программно-аппаратное обеспечение для рассматриваемого персептрона. Для обучения персептрона используем самостоятельно разработанное программное обеспечение, выходом которого будут весовые коэффициенты ИНС. Для алгоритма обучения сети была подготовлена выборка, состоящая из порядка трех возможных входных значений для каждой из цифр, таким образом, что размер выборки составил 34 записи, и были использованы параметры, приведенные в таблице 2.

Под минимальной допустимой ошибкой понимается сумма «дельт» между ожидаемым выходом нейрона и фактическим значением, поделенная на число выходных нейронов. Так как число выходных нейронов равно «4», а диапазон выходных значений нейрона $[0; 1]$, ошибка на одном нейроне в наихудшем случае составит 1.

Однако такой сценарий на практике маловероятен, и ошибка распространится на более чем один нейрон. В сочетании с использованием пороговой функции с граничным значением 0,5 это позволит получить выходные значения с точностью, приемлемой для поставленной перед персептроном задачи. Значение порога является серединой интервала принимаемого нейроном выходного слоя значения, что является удобным для метода обратного распространения ошибки.

Таблица 2 – Постоянные алгоритма обучения персептрона

Параметр	Значение
Постоянная скорости обучения	0,01
Передачная функция	Сигмоидальная функция Ферми
Минимально допустимая ошибка	0,15

Алгоритм предусматривает использование известного метода обратного распространения ошибки для подбора весовых коэффициентов. Суть метода заключается в том, что для выходного слоя рассчитывается разница между значениями сигналов нейронов и эталонными значениями. После этого значение разницы, или ошибки, распространяется на предыдущий слой и корректируется с использованием производной от передаточной функции.

Важно отметить, что большинство современных языков высокого уровня представляют возможность использовать числа с плавающей запятой с различной точностью. Ее типичными значениями являются 32 или 64 бита. Компилятор языка «С», применяемый для разработки программного обеспечения микроконтроллера, позволяет использовать тип данных числа с плавающей точкой размером 32 бита. По этой причине в программном продукте следует использовать тип данных соответствующей длины для получения ожидаемого результата вычислений.

Тип данных, используемый в ИНС, является важным аспектом разработки программного обеспечения для микроконтроллера. Так как устройство, которое используется для аппаратной реализации 8-битное, то размер данных, которыми микроконтроллер может оперировать в одной инструкции, составляет 8 бит. Также микроконтроллеры подобного класса (ВБМК) не обладают встроенным модулем для выполнения арифметических операций над числами с плавающей точкой – для персональных компьютеров (например, моделей IBM AT-286) его когда-то называли «арифметическим сопроцессором». Поэтому для реализации подобных действий требуется выполнение сравнительно большого числа инструкций. В связи с этим встает вопрос о вычислительных возможностях устройства (ВБМК) и связанных с этим ограничений.

Оценку производительности применительно к операциям над числами с плавающей точкой принято производить в несистемной единице измерения FLOPS – от английского Floating-point Operations Per Second.

При этом от скорости выполнения вычислений для совокупности инструкций зависит число операций с числами за единицу времени, что и является метрикой.

Для более универсальной оценки объема вычислений целесообразно использовать оценки, выраженные в необходимом количестве тактов работы процессора. Результат оценки операций с числами с плавающей точкой в различных единицах измерения для ВБМК рассматриваемого в данной работе семейства при частоте работы 16 МГц представлен в таблице 3 [13].

Таблица 3 – Результаты замеров скорости выполнения операций над числами с плавающей точкой [13]

Число тактов	Время (секунд)	FLOPS	Число итераций	Операция
124235	0,007765	128788,2	1000	Сложение
152630	0,009539	104828,7	1000	Умножение
494280	0,030893	32370,3	1000	Деление
496094	0,031006	32252,0	1000	Возведение в степень
278897	0,017431	57368,9	1000	Вида $y = mx + b$

При использовании встроенного источника тактовых импульсов микроконтроллера ATtiny85 можно добиться частоты работы в 16 МГц. Прототип ИНС, построенный в данной работе, также функционирует на данной частоте. Поэтому представляется возможность дать оценку времени вычислений для конкретной реализации модели персептрона, а также привести теоретические граничные значения для отдельных характеристик ИНС.

Так как на одном нейроне осуществляется задача получения суммы произведений весовых коэффициентов на значения входных сигналов и вычисления значения функции активации от полученной суммы, количество тактов для вычислений можно представить в виде (3):

$$c_N = i(c_{add} + c_{mul} - 1) + c_f, \quad (3)$$

где c_N – стоимость вычислений на одном нейроне; i – число входов нейрона; c_{add} – стоимость операции сложения; c_{mul} – стоимость операции умножения; c_f – стоимость вычисления функции активации. Переходя от числа входов нейрона к числу синаптических связей в персептроне, получаем:

$$c_p = N_w(c_{add} + c_{mul} - 1) + c_f(N_h + N_y),$$

$$c_p = N_h(N_x + N_y)(c_{add} + c_{mul} - 1) + c_f(N_h + N_y),$$

где c_p – стоимость вычислений персептрона; N_x, N_h, N_y – число нейронов входного, скрытого и выходного слоев соответственно. В качестве функции активации нейронов скрытого и выходного слоев в ИНС используется сигмоидальная функция вида (4):

$$y(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}. \quad (4)$$

Исходя из этого, получаем оценку стоимости вычисления функции:

$$c_f = c_{div} + c_{add} + c_{pow}, \quad (5)$$

где c_{div} – стоимость операции деления; c_{pow} – стоимость операции возведения в степень. Подставив известные значения параметров ИНС прототипа и средние значения числа тактов в качестве стоимости вычислений из таблицы 3, получим:

$$c_p = 15(7 + 4)(124 + 152 - 1) + (494 + 124 + 496)(15 + 4) = 66541 \text{ тактов.}$$

Переходя от оценки в тактах к оценке времени выполнения вычислений на заданной частоте, получим время распространения сигналов по сети t_p , равное:

$$t_p = \frac{66541}{16000000} \approx 0.004 \text{ секунды.}$$

Для задачи, поставленной перед разрабатываемым прототипом ИНС, указанное расчетное время выполнения является приемлемым.

Также попробуем дать оценку размера сети, распространение сигнала по которой будет занимать время меньше некоторого заданного. Приняв в качестве допущений аналогично ранее приведенному расчету занимаемого ИНС объема памяти $N_y = \log_2 N_x$, $N_h = 2N_x + 1$, перейдем от ранее полученного равенства к функции от одной переменной:

$$c_p = (2N_x + 1)(N_x + \log_2 N_x)(c_{add} + c_{mul} - 1) + c_f(2N_x + 1 + \log_2 N_x).$$

Подставим в полученное выражение значения числа тактов из таблицы 3 и примем в качестве значения максимального времени распространения по сети интуитивно приемлемые 100 миллисекунд или 1 600 000 тактов. При таких параметрах решим неравенство

$$(2N_x + 1)(N_x + \log_2 N_x)(c_{add} + c_{mul} - 1) + c_f(2N_x + 1 + \log_2 N_x) \geq 1600000$$

относительно N_x . Сформулированное неравенство выполняется при $N_x \geq 48$, что превышает ранее полученную оценку максимального размера сети для размещения в памяти устройства. Таким образом, вышеприведенные рассуждения позволяют сделать вывод о принципиальной возможности применения маломощных ВБМК с точки зрения скорости осуществления вычислений.

Кривые скорости обучения ИНС при заданных в таблице 2 параметрах алгоритма, полученные при 6-ти запусках программного продукта, приведены на рисунке 3. По оси абсцисс отложено число итераций, по оси ординат – средняя ошибка для выходного слоя. Разница в скорости схождения графиков обуславливается тем, что весовые коэффициенты в начале работы алгоритма задаются случайным образом. Можно отметить, что требуется не менее 1 миллиона итераций для достижения заданной (см. таблицу 2 и предшествующий абзац) точности.

Кривые обучения персептрона

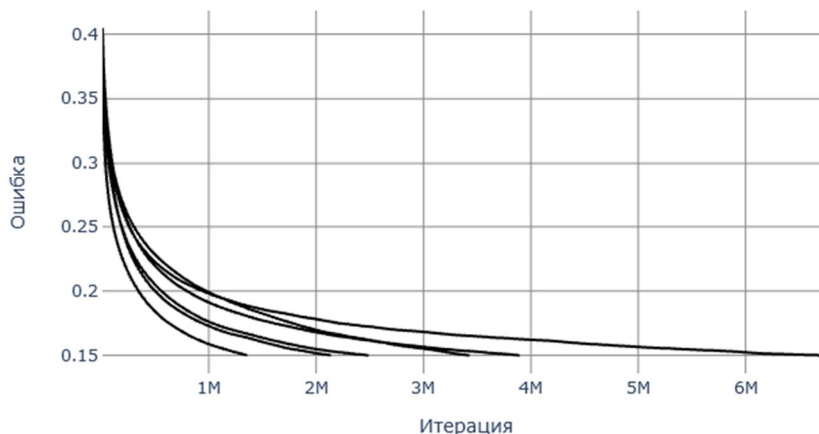


Рисунок 3 – Кривые обучения персептрона (буква «М» означает «миллионов итераций»)

Аппаратная составляющая. Аппаратная часть реализованного проекта (по построению ИНС для распознавания символов, отображаемых на семисегментном индикаторе) состоит из микроконтроллера, сдвигового регистра, семисегментного индикатора, используемого для отображения символа, и светодиода для вспомогательной индикации.

Принципиальная схема устройства приведена на рисунке 4. Сдвиговый регистр применен в силу малого количества портов ввода-вывода выбранного ВБМК. Данное устройство позволяет установить на 8-ми портах вывода значение, полученное путем последовательного побитового ввода данных. При этом управление сдвиговым регистром осуществляется с помощью 3-х выводов микроконтроллера. Из восьми выводов ВБМК только пять доступно в качестве универсальных портов ввода-вывода. Поэтому использование сдвигового регистра для управления семисегментным индикатором становится целесообразным (необходимым).

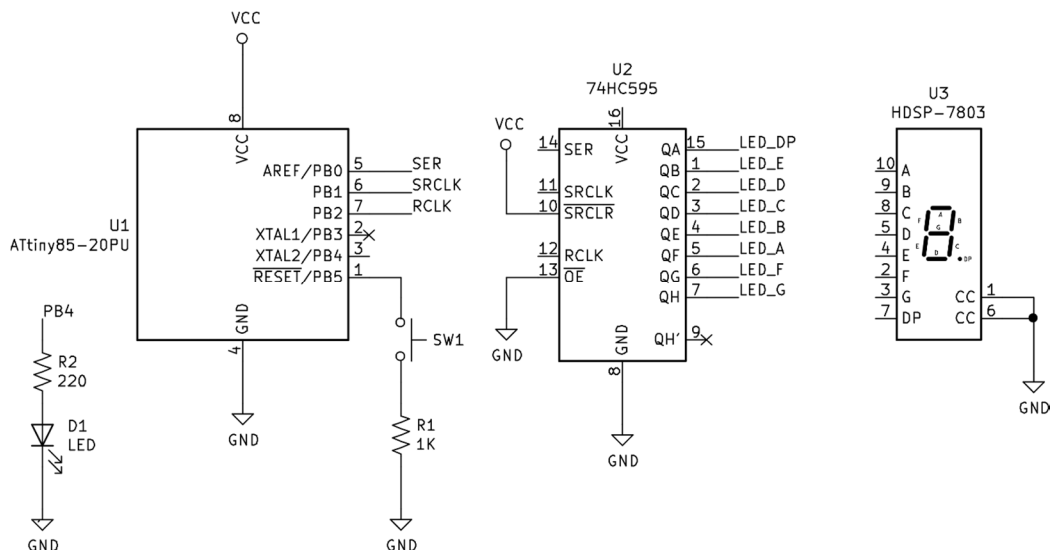


Рисунок 4 – Принципиальная схема устройства на основе ВБМК

В ходе работы ВБМК генерирует цифру для отображения и выводит ее на семисегментный индикатор. Затем после некоторой задержки отображенный ранее символ искажается «случайным» образом. В качестве параметра, инициализирующего генератор псевдослучайных чисел, выступает значение, полученное с аналого-цифрового преобразователя, активного на выводе 3 микроконтроллера. Так как этот вывод не подключен ни к какой периферии, то на его входе присутствуют случайные «шумы».

Искаженный символ выводится на индикатор и включается вспомогательный светодиод для отображения данного режима (вывод искаженного символа). Бинарное представление символа направляется на вход предварительно обученной ИНС, для которой, таким образом, известны весовые коэффициенты. Полученное выходное значение декодируется и выводится на индикатор, включая при этом дополнительный сегмент – точку (в знак того, что отображается «искаженный» символ).

На этом очередной цикл работы является окончанным и после некоторой задержки по времени запускается новый цикл (итак, вплоть до окончания заданного количества циклов). Диаграмма последовательностей приведена на рисунке 5.

Таким образом, индикация позволяет визуально определить корректность работы ИНС. Вид собранного устройства с включенными средствами индикации на этапе отображения искаженного символа приведен на рисунке 6.

Оно осуществляет декодирование входных данных на основе использования предварительно сгенерированной ИНС. Демонстрация работы устройства приведена на рисунке 6.

Подчеркнем еще раз, что данное устройство, использующее обученную ИНС, используется просто как «демонстрационный объект», позволяющий обосновать возможность использования ВБМК для решения достаточно сложных задач, оценить их вычислительную эффективность.

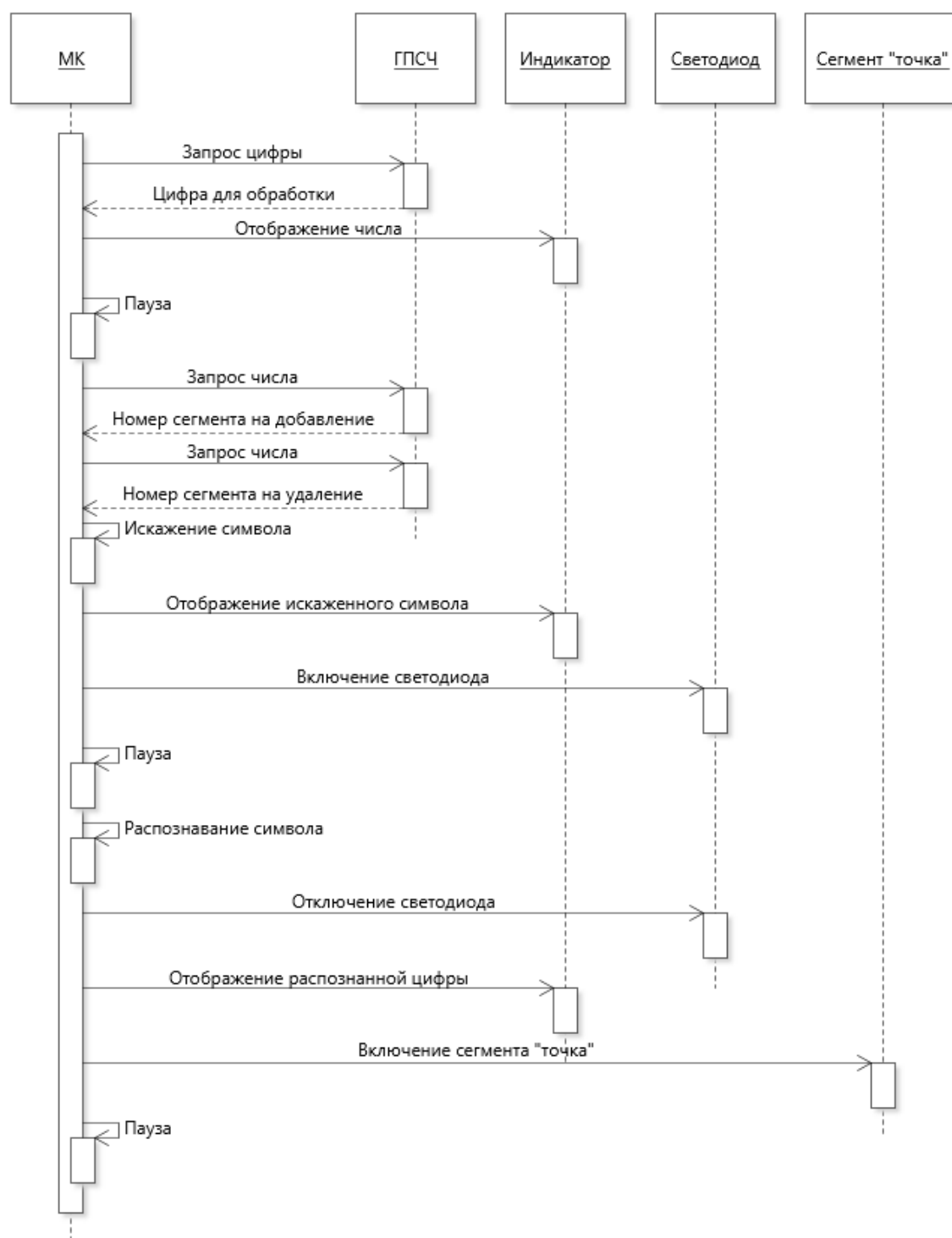


Рисунок 5 – Диаграмма последовательностей работы прототипа

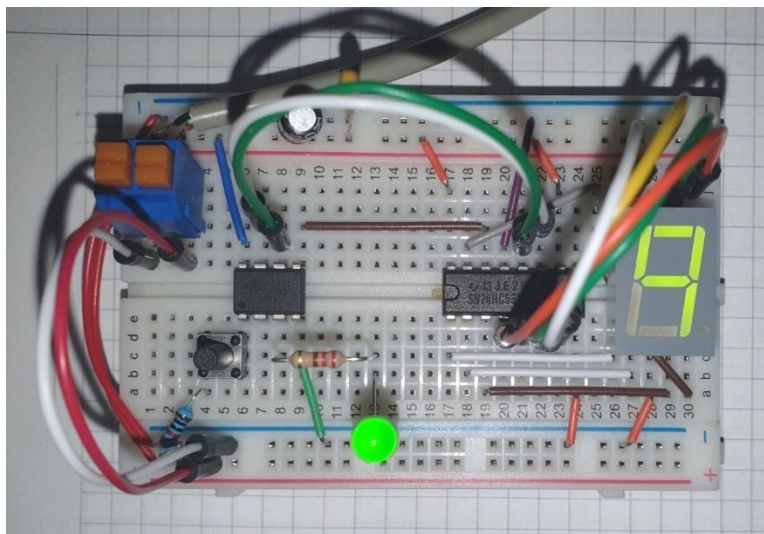
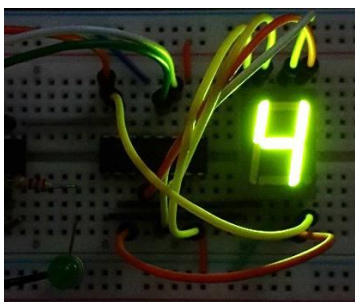
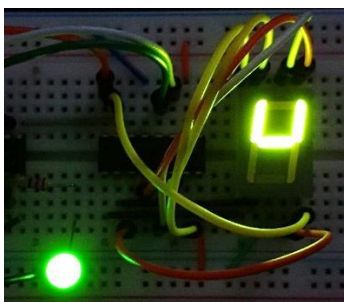


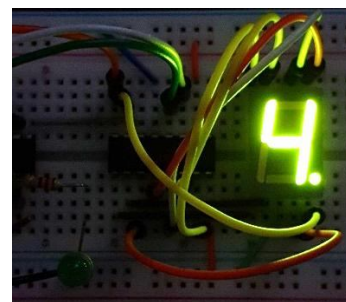
Рисунок 6 – Вид собранного устройства на беспаячной макетной плате



Генерация исходного символа



Искажение символа



Результат распознавания
искаженного символа

Рисунок 6 – Этапы работы устройства, представленные в наглядной форме

Выводы. В работе рассмотрена программно-аппаратная реализация модели персептрона на основе использования ВБМК. Разработана нейронная сеть (НС) для задачи распознавания цифр, отображаемых на семисегментном индикаторе. Использовалась топология персептрона с одним скрытым слоем. Выделены характеристики НС, критичные с точки зрения реализации на ВБМК. Разработаны оценки для определения различных параметров НС для конкретных характеристик ВБМК. Дана оценка скорости реакции сети, построенной на базе ВБМК. Сделан вывод о допустимости и целесообразности использования ВБМК для решения выбранной демонстрационной и аналогичных задач.

Библиографический список

1. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL / А. В. Евстифеев. – 5-е изд., стер. – Москва : Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 560 с.
2. Колмогоров А. Н. О представлении непрерывных функций несколькими переменными суперпозициями непрерывных функций меньшего числа переменных / А. Н. Колмогоров // Докл. АН СССР. – 1956. – Т. 108. – С. 2.
3. Новикова А. А. Информационные технологии в процессе анализа видеоданных / А. А. Новикова, И. Ю. Квятковская // Материалы Всероссийской междисциплинарной научной конференции / под общей ред. Н. Т. Берберовой, А. В. Котельникова. – 2017.
4. Общая электротехника и электроника : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Р. И. Екутеч, А. А. Паранук, В. А. Хрисониди. – Краснодар : Краснодарский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2019. – 371 с.
5. Шуршев В. Ф. Информационная система для поддержки принятия решений при выборе устройств / В. Ф. Шуршев, Л. В. Буй // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1 – С. 208–219.
6. Ясницкий Л. Н. Введение в искусственный интеллект : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Л. Н. Ясницкий. – 2-е изд., испр. – Москва : Издательский центр «Академия», 2008. – 176 с.
7. 11 Myths About 8-Bit Microcontrollers / Wayne Freeman. – Microchip Technology, 2016.
8. ATtiny85 – 8-bit Microcontrollers – Режим доступа: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATtiny85>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 30.04.2020).

9. Deep Learning & Artificial Intelligence Solutions from NVIDIA. – Режим доступа: <https://www.nvidia.com/en-us/deep-learning-ai/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 30.04.2020).
10. Introducing a New Breed of Microcontrollers for 8/16-bit Applications / Kristian Saether, Ingar Fredriksen. – Atmel Corporation, 2008.
11. Hecht-Nielsen R. Kolmogorov's Mapping Neural Network Existence Theorem / R. Hecht-Nielsen // IEEE First Annual Int. Conf. on Neural Networks. – San Diego, 1987. – Vol. 3. – P. 11–13.
12. Qualcomm Artificial Intelligence | AI Machine Learning | Qualcomm. – Режим доступа: <https://www.qualcomm.com/invention/artificial-intelligence>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 30.04.2020).
13. Time taken for a mathematical operation | Page 2 | AVR Freaks. – Режим доступа: <https://www.avrfreaks.net/comment/720329#comment-720329>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 30.04.2020).

References

1. Evstifeev A. V. *Mikrokontrollery AVR semeystv Tiny i Mega firmy ATMEL* [Microcontrollers AVR of the Tiny and Mega families of ATMEL], 5th ed., ster. Moscow, Publishing House «Dodeka-XXI», 2008.
2. Kolmogorov A. N. O predstavlenii nepreryvnykh funktsiy neskolkikh peremennykh superpozitsiyami nepreryvnykh funktsiy menshego chisla peremennykh [On the representation of continuous functions of several variables by superpositions of continuous functions of a smaller number of variables]. *Doklady AN SSSR* [Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR], 1956, vol. 108, p. 2.
3. Novikova A. A., Kvyatkovskaya I. Yu. Informatsionnye tekhnologii v protsesse analiza videodannykh [Information technologies in the process of video data analysis]. *Materialy Vserossiyskoy mezhdistsiplinarnoy nauchnoy konferentsii* [Materials of the All-Russian interdisciplinary scientific conference], 2017.
4. Ekutech R. I., Paranuk A. A., Khrisonidi V. A. *Obshchaya elektrotekhnika i elektronika : uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy* [General electrical engineering and electronics: a textbook for students of higher educational institutions]. Krasnodar, 2019.
5. Shurshev V. F., Buy L. V. Informatsionnaya sistema dlya podderzhki prinyatiya resheniy pri vybere ustroystv Information system for decision support when choosing devices [Information system for decision support when choosing devices]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 1, pp. 208–219.
6. Yasnitskiy L. N. *Vvedenie v iskusstvennyy intellekt* [Introduction to artificial intelligence]. 2nd ed., rev. Moscow, Publishing Center «Akademiya», 2008.
7. Wayne Freeman. *11 Myths About 8-Bit Microcontrollers*. Microchip Technology, 2016.
8. *ATtiny85 – 8-bit Microcontrollers*. Available at: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATtiny85> (accessed 30.04.2020).
9. *Deep Learning & Artificial Intelligence Solutions from NVIDIA*. Available at: <https://www.nvidia.com/en-us/deep-learning-ai/> (accessed 30.04.2020).
10. Kristian Saether, Ingar Fredriksen. *Introducing a New Breed of Microcontrollers for 8/16-bit Applications*. Atmel Corporation, 2008.
11. Hecht-Nielsen R. Kolmogorov's Mapping Neural Network Existence Theorem. *IEEE First Annual Int. Conf. on Neural Networks*, San Diego, 1987, vol. 3, pp. 11–13.
12. *Qualcomm Artificial Intelligence | AI Machine Learning | Qualcomm*. Available at: <https://www.qualcomm.com/invention/artificial-intelligence> (accessed 30.04.2020).
13. *Time taken for a mathematical operation | Page 2 | AVR Freaks*. Available at: <https://www.avrfreaks.net/comment/720329#comment-720329> (accessed 30.04.2020).

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

УДК 004.02:[001.6+002]

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛО-ХОЛОДОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЧАСТЕЙ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Статья поступила в редакцию 15.03.2020, в окончательном варианте – 23.05.2020.

Брумитейн Юрий Моисеевич, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, кандидат технических наук, доцент, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0016-7295>; https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=280533; e-mail: brum2003@mail.ru

Чурюмова Алина Станиславовна, Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Астраханской области Александро-Мариинская областная клиническая больница, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 2,

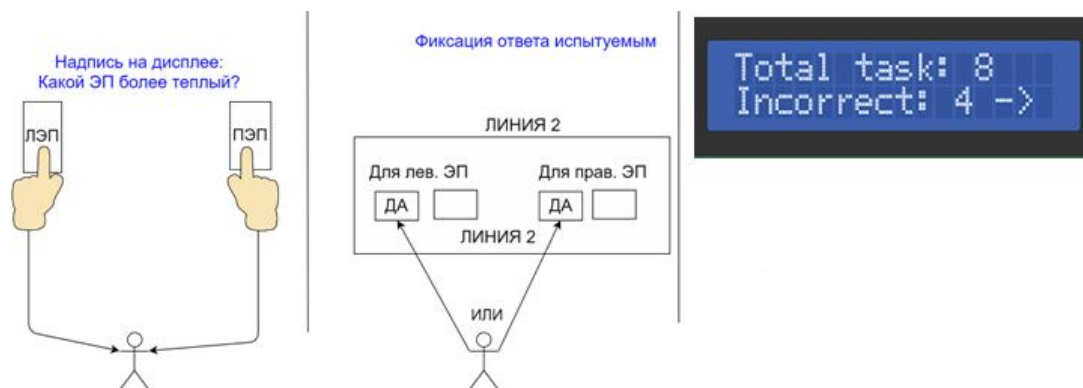
инженер по обслуживанию медицинской техники, e-mail: alinkababydoll@mail.ru

Молимонов Дмитрий Александрович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, магистрант, e-mail: dmolimonov@mail.ru

Рассмотрены виды деятельности/ситуации, для которых важны оценки скорости и точности восприятия человеком температур объектов, динамики их изменения; запоминание температур. Приведены особенности работы системы терморегулирования человека, важные для темы статьи. Охарактеризованы возможности визуального определения человеком температур нагретых тел по цветам их свечения. Проанализированы особенности оценок испытуемыми температур объектов на основе восприятия исходящего от них инфракрасного излучения. Показаны возможности использования для этих целей программно-аппаратных комплексов с регулируемыми по мощности нагревателями. При этом фактические температуры поверхностей программно-аппаратных комплексов можно оценивать так: на основе градуировочных кривых «мощность нагревателя – температура»; прямыми измерениями с помощью контактных и/или бесконтактных инфракрасных термометров. Указаны основные факторы, влияющие на субъективные оценки испытуемыми температуры воздуха. Показана важность изучения таких оценок, в том числе для управления температурами воздуха в помещениях. Рассмотрены варианты построения программно-аппаратных комплексов для проведения исследований восприятия температуры воздуха, его влажности, скорости движения. Охарактеризованы способы изучения восприятия испытуемыми температур жидкостей: в неподвижных объемах, в потоках, для отдельных капель; варианты построения программно-аппаратных комплексов для проведения таких исследований. Проанализированы особенности оценок испытуемыми температуры объектов «на ощупь» кончиками пальцев рук. Указаны факторы, влияющие на такие оценки, включая теплопроводность самих объектов и пальцев, наличие на них пота и пр. Описаны конструкция и принципы использования экспериментального программно-аппаратного комплекса на основе малогабаритных элементов Пельтье. Температуры их поверхностей управляются микроконтроллером и/или испытуемым; могут задаваться больше или меньше температуры кончиков пальцев; возможно задание и отрицательных температур. На основе использования этого программно-аппаратного комплекса описан ряд методик исследований тепло-холодовой чувствительности кончиков пальцев рук: оценки тестируемыми наличия разностей температур поверхностей элементов Пельтье; определение динамики изменения температур их поверхностей; оценки характеристик тепловой памяти.

Ключевые слова: чувствительность к теплу, чувствительность к холоду, рецепторы, восприятие температур, динамика изменения температур, подбор температур, температурная память, методы исследований, программно-аппаратный комплекс, профессиональный отбор, диагностика патологий

Графическая аннотация (Graphical annotation)



ANALYSIS OF METHODS AND HARDWARE-SOFTWARE SOLUTIONS FOR INVESTIGATION OF THERMAL-COLD SENSITIVITY OF HUMAN BODY PARTS

The article was received by the editorial board on 15.03.2020, in the final version – 23.05.2020.

Brumshteyn Yuri M., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,
Cand. Sci. (Engineering), ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0016-7295>; e-mail: brum2003@mail.ru

Churumova Alina S., State Budgetary Health Institution of the Astrakhan region Alexandro-Mariinsky Regional Clinical Hospital, 2 Tatishchev St., 414056, Astrakhan,
medical equipment maintenance engineer, e-mail: alinkababydoll@mail.ru

Molimonov Dmitry S., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,
master student, e-mail: dmolimonov@mail.ru

Authors are considered the types of activities and situations for which are important estimates of speed and accuracy of human perception of objects temperatures, dynamics of its changes; storing evaluations of temperatures. In article were introduced features of human thermoreceptors work, important for the topic of the article. The possibilities of visual determination by a person of heated bodies temperatures by colors of their illumination are characterized. Authors are analyzed the features of the test-subject's estimates of temperatures for object, based on the detection of infrared radiation coming from them. The possibilities of using software-hardware complexes with power-adjustable heaters for this purpose are shown. At the same time actual temperatures of software-hardware complexes surfaces can be estimated as follows: on the basis of reference curves "heater power – temperature"; direct measurements using contact and/or contactless infra-red thermometers. The main factors influencing subjective persons estimates of air temperature are specified. The importance of studying such estimates is shown, including for controlling air temperatures in internal areas. There are considered versions of software-hardware complexes constructions to carry out studies of air temperatures perception, its humidity, speed of movement, etc. Authors are described methods of studying the perception of liquid temperatures by the testing: in liquid volumes, in streams, for individual droplets; options for building a software-hardware complex for such researchers. In this article have been analyzed the peculiarities of the testing person's estimates for the temperature of objects by finger tips touch. Factors, affecting such estimates, are indicated, including the thermal conductivity of the objects and fingers themselves, the presence of sweat on finger tips, etc. The authors described design and principles of using experimental software-hardware complex, based on small-size Peltier elements. The temperatures of their surfaces are controlled by the microcontroller and/or the person; they may be set more or less than the temperature of the fingers; negative temperatures can also be set. Based on the use of this software-hardware complex, a number of techniques have been described for investigation the heat-cold sensitivity of the person's finger tips: their assessment of the presence of temperature differences of Peltier element surfaces; determination of the dynamics of their surfaces temperatures; evaluation of person's thermal memory characteristics, etc.

Keywords: heat sensitivity, cold sensitivity, receptors, temperature perception, dynamics of temperature change, temperature selection, temperature memory, methods of research, software and hardware complex, professional selection, diagnosis of pathologies

Введение. В жизнедеятельности практически всех людей важнейшую роль играет восприятие ими температур различных объектов [12]. Оно необходимо, в частности, при рефлекторной саморегуляции температуры [2] тела; для принятия и реализации людьми оперативных решений бытового

и производственного характера; для контроля процессов лечения и медицинской реабилитации [13] и пр. Существенно, что эти температуры воспринимаются с погрешностями, что может приводить к ошибочным решениям/действиям. Методики для оценки характеристик восприятия температуры объектов человеком (ХВТОЧ) разработаны преимущественно для решения «клинических медицинских задач», относящихся к выявлению некоторых патологий/заболеваний. Эти методики обеспечивают получение качественных, а не количественных показателей. На практике погрешности восприятия температуры отдельными людьми могут значительно различаться. Более того, для одних и тех же людей эти погрешности могут быть разными в разных ситуациях, при их разном самочувствии, разной степени усталости и пр. Поэтому количественные исследования индивидуальных ХВТОЧ достаточно актуальны. Однако методики и инструментальные средства для их реализации разработаны слабо. Это касается учебников и научных статей; сведений по зарегистрированным программным средствам; имеющегося в продаже оборудования; с оговорками – патентной информации. Поэтому целью данной статьи является попытка устранить недостаток описанной ситуации.

Общая характеристика проблематики работы. В процессе эволюции у человека сформировались органы восприятия температуры, расположенные на большей части поверхности его тела. Рецепторы для восприятия тепла и холода различаются [11, 14], причем обычно «холодовые» рецепторы расположены несколько ближе к поверхности кожи. Система терморецепции человека обеспечивает высокую чувствительность восприятия температур внешней среды (воздуха, жидкости, конденсированных сред) открытыми участками кожи; сравнительно малую «тепловую инерционность работы» терморецепторов [11]. Наиболее высокая плотность расположения терморецепторов характерна для кончиков пальцев рук и лица человека [3]. Эта плотность индивидуальна для каждого человека [5], что влияет и на ХВТОЧ. Особую важность для человека имеют оценки температур объектов в диапазоне, близком к 36,6 °С.

Основные функции, обеспечиваемые системой терморецепции человека.

1. Температуру других людей человек может оценивать контактно (например, путем прикосновения кончиками пальцев рук или ладонью ко лбу) или бесконтактно – например, вид покрасневшей кожи лица обычно ассоциируется с повышенной температурой тела.

2. Человек может оценивать собственную температуру так: за счет разницы температур отдельных частей своего тела (например, ладоней и лба); по появлению «испарины»; по покраснению лица (например, при наблюдении в зеркале); по ухудшению самочувствия. (а) Повышенная температура «тела в целом» характерна для таких ситуаций: многие виды заболеваний; повышенная физическая нагрузка; высокая температура окружающего воздуха. Повышение температуры тела может сопровождаться общим ухудшением самочувствия; появлением озноба; изменением скоростей психомоторных реакций; появлением ошибок в принятии и реализации решений. (б) Понижение температуры «тела в целом»: также может приводить к появлению озноба. Оно обычно сопровождается снижением скоростей психомоторных реакций; уменьшением скоростей восприятия информации, поступающей по сенсорным каналам и, как следствие, замедленными реакциями на эту информацию.

3. Восприятие человеком внешних температурных воздействий. (а) Локальное охлаждение отдельных участков тела на короткие промежутки времени. Сопровождается локальной потерей болевой чувствительности; в медицине используется, например, при местных хирургических операциях за счет «обработки» участков тела испаряющимся хлорэтилом. (б) Локальный перегрев участков тела, даже кратковременный, может приводить к ожогам кожи, тканей, внутренних органов; омертвлению тканей.

Быстрая рефлекторная реакция человека по «отдергиванию» конечностей от чересчур горячих или холодных объектов направлена на исключение воздействия экстремальных температур и, как следствие, на предотвращение негативных последствий. При неуверенности человека в температуре объекта он обычно дотрагивается до него кончиком пальца только на короткое время (также для минимизации возможных негативных последствий). Рефлекторные реакции, впрочем, могут быть преодолены на «рассудочном» уровне. Человеком могут быть предприняты и иные меры: использование «теплоизолирующих материалов» при контакте с сильно нагретыми или сильно охлажденными объектами; изменение температуры объекта, если она «неподходящая».

Разработаны и выпускаются различные инструментальные средства измерения/мониторинга температур различных объектов, в том числе и тела человека. Однако иногда их применение неудобно, нежелательно или неприемлемо. При таких условиях человеком температура его тела и внешних по отношению к нему объектов оценивается с использованием собственной системы терморецепции. Варианты таких оценок. (а) Оценки абсолютных температур. Используется сравнение с собственной температурой (как эталоном); опыт работы человека с нагретыми и охлажденными объектами, для которых температуры были известны. (б) Относительные оценки.

Наличие/отсутствие разности температур двух объектов – например, при касании их пальцами. (в) Оценка наличия, направленности и скорости изменения температуры объекта во времени.

В типичных случаях температура воздуха оценивается человеком контактно, а иных объектов может оцениваться контактно (путем прикосновения к ним) или бесконтактно (например, на основе восприятия инфракрасного излучения).

В отношении ХВТОЧ отметим следующее. (а) Возможности использования одежды существенно изменили для человека диапазоны допустимых/приемлемых (и даже комфортных) интервалов температур внешней среды. (б) Применение систем кондиционирования воздуха обеспечивает для людей значительные возможности регулирования характеристик «среды жизнедеятельности» и, как следствие, снижает «нагрузку» на систему терморегулирования их организмов. (в) Для ряда заболеваний, а также при использовании физиотерапевтических методов [15] (включая применение аппаратов УВЧ), важно восприятие человеком не только поверхностных температур тела и его частей, но и внутренних органов. (г) В условиях интенсивного использования техники и технологий человеку приходится иметь дело с различными видами объектов, не характерных для естественной природной среды. Их температуры могут быть самыми различными; иногда – представлять непосредственную угрозу для здоровья и даже жизни человека.

4. Терморегуляция [6, 10, 16] направлена на стабилизацию температуры тела человека (и, с некоторыми оговорками, конечностей) на нужном уровне. Для здорового человека этот уровень равен 36,6 °С, для больного – обычно выше. Варианты терморегуляции на рефлекторном уровне. (а) Непрерывная выработка тепла внутренними органами, в том числе с изменяющейся интенсивностью. (б) Дополнительная выработка тепла за счет сокращения мышц при их дрожании – например, при ознобе. (в) Выделение пота – для отбора тепла с поверхности тела за счет испарения жидкости. (г) Расширение сосудов и повышение давления крови при необходимости интенсификации прокачки крови. Используется как «средство» доставки тепла в охлаждаемую конечность или, наоборот, отбора избыточного тепла от нагреваемой конечности или внутреннего органа. (д) Отдергивание конечности при контакте с чрезмерно горячим или холодным предметом.

Варианты терморегуляции на «рассудочном уровне». (а) Использование одежды, в том числе ее одевание, «застегивание» или «расстегивание» – в зависимости от температуры внешней среды, скорости ветра, влажности. (б) Применение электроподогрева одежды, перчаток (у сварщиков), «тепловых поясов» и пр. (в) Уход из зоны интенсивной солнечной инсоляции в тень или, наоборот, выход «на солнце». (г) Изменение температуры окружающего воздуха – например, путем включения кондиционера или электрокалорифера. (д) Изменение скорости движения воздуха: с целью интенсификации испарения пота; увеличения «отбора» тепла от электронагревателей (ЭН) и пр. Для обеспечения принудительной циркуляции воздуха обычно используются электровентиляторы (ЭВ), в том числе с регулируемыми количествами оборотов. (е) Использование в медицинских целях прогрева тела или его частей с поверхности. Примеры: «водяные грелки», представляющие собой емкости для горячей воды; «парафиновые» маски; стоунотерапия и пр. (ж) Прогрев тела в «объеме»: «горячие ванны»; с помощью генераторов УВЧ и пр. (з) Введение в организм жаропонижающих медикаментозных препаратов. (и) Локальное использование «холода» – например, «пузыри со льдом». Практически во всех этих случаях важно восприятие человеком температуры – особенно слишком высокой температуры.

Температура поверхности отдельных частей тела человека может существенно отличаться от температуры внутренних органов. В частности, при интенсивном охлаждении «система термостабилизации» человека обеспечивает в первую очередь постоянство температуры внутренних органов (особенно мозга) и лишь во вторую – конечностей. Переохлаждение тела возможно, например, при нахождении человека в среде холодного воздуха без одежды, в холодной воде и пр. При «снятии» «холодовых воздействий» восстановление температуры частей тела может затягиваться, в том числе из-за повышенной вязкости крови при низких температурах.

Нарушения в работе системы терморегуляции организма могут быть связаны с повреждениями самих терморепцепторов (например, при воздействиях экстремальных температур, при механических воздействиях и пр.); проводящих нервных путей [6, 10]; заболеваниями и травмами головного мозга.

5. Под «тепловой памятью» человека будем понимать возможность удержания им в памяти температур тех объектов, которые оценивались им с помощью собственной сенсорной системы (без использования инструментальных средств). Информация о температурах может храниться так: в виде непосредственных «сенсорных ощущений», в том числе ассоциированных с некоторыми объектами; субъективных «числовых оценок» температур, которые выработал испытуемый. По крайней мере, в последнем случае значительное влияние на результаты тестирования «тепловой памяти» исследуемых лиц могут оказывать нарушения в работе головного мозга, а также «внешние помехи», направленные на вытеснение информации из кратковременной памяти.

Визуальная оценка температур внешних объектов – такие возможности обычно достаточно ограничены; осуществляются с использованием ассоциативной памяти. (а) Для раскаленных металлов, испускающих свет, температура может дистанционно оцениваться по цвету свечения (с учетом вида металла) – обычно от темно-красного до ярко-белого. Качество таких оценок важно в основном для профессиональных металлургов, металлопрокатчиков и пр. Тестирование качества таких оценок возможно с использованием воспроизведения цветов на бумаге, на экране ЭВМ, с помощью RGB-светодиодов. (б) Для сильно нагретых объектов из стекла температура может оцениваться по цвету свечения, но соотношения «цвет – температура» в этом случае иные. (в) Для объемов жидкостей их температура визуально может оцениваться по выделению пара над ними; по проявлениям процесса кипения; по льдинам, плавающим в воде, и пр.

Дистанционная оценка температур объектов на основе восприятия инфракрасного излучения (ИКИ). Оно может восприниматься в основном частями тела, имеющими высокую плотность расположения терморецепторов: кожей лица, ладонями и пальцами рук. Возможные причины ошибок оценки температур: удаленность оцениваемых объектов от наблюдателя и, как следствие, значительное влияние «теплого фона» внешней среды, в том числе воздуха; небольшие размеры оцениваемых объектов; непостоянство собственной температуры участков тела человека, которые используются для восприятия ИКИ; процессы «привыкания» к воздействию ИКИ и пр.

Для исследования и тренинга оценок температур объектов по их ИКИ возможно использование программно-аппаратных комплексов (ПАК) с регулируемыми по мощности ЭН и сменными «тест-объектами» (ТО) различного размера, формы и цвета. В процессе тестирования температуры ТО могут под управлением программы меняться ступенчато или плавно. Испытуемый оценивает эти температуры и фиксирует их значения: вводом с клавиатуры, установкой ползунков, голосом и пр. Фактические температуры ТО ПАК в процессе тестирования можно оценивать так: на основе градуировочных кривых «мощность нагревателя – температура ТО»; прямыми измерениями с помощью контактных и/или бесконтактных инфракрасных термометров – предполагается, что эти измерения производит специалист-тестолог. Информативны следующие виды результатов исследований: абсолютные оценки ошибок определения температур, включая их знаки; динамика изменения ошибок в процессе исследований и пр.

Могут также ставиться задачи на выявление изменений температур ТО во времени; на оценки скоростей изменения температур. При этом использование программно управляемых кулеров, укрепленных «сзади» ТО, обеспечивает возможности быстрого перехода к последующим тестовым заданиям (ТЗ).

При «собственно тестировании» испытуемый после окончания «теста в целом» получает сводку результатов по отдельным ТЗ; возможно среднюю по модулю ошибку; средние значения ошибок «в плюс» и «в минус». При тренингах оценки ошибок могут «доводиться» до испытуемого после каждого ТЗ. На основании этого он может делать выводы в отношении необходимого направления корректировки своих оценок.

Восприятие температуры воздуха. Параметры воздушной среды играют особую роль в жизнедеятельности человека. Важнейшие факторы, влияющие на такое восприятие: фактическая температура воздушной среды; общее самочувствие человека; текущая температура его тела, кожи лица и конечностей; скорость движения воздуха; его влажность, плотность (давление) [8]; соотношение концентрации газов в воздухе [9]; скорости изменения температурных воздействий [7]; одновременные воздействия по звуковому и световому [1] каналам; вербальные воздействия и пр.

Влияние влажности. (а) Сухой (с низкой влажностью) горячий воздух обеспечивает возможность испарения в него влаги. Поэтому субъективно он может восприниматься как «более прохладный» – например, в саунах. (б) Влажный горячий воздух (например, в «парилках» бань) не дает возможности испарения пота. Поэтому субъективно он воспринимается как весьма горячий. (в) Влажный холодный воздух приводит к более интенсивной теплоотдаче по сравнению с менее влажным воздухом. Поэтому субъективно влажный холодный воздух кажется имеющим более низкую температуру.

Влияние плотности (давления) воздуха. Если давление значительно выше атмосферного (например, в барокамерах), то процессы теплообмена тела с воздушной средой интенсифицируются. И, наоборот, для разреженного воздуха (например, при подъемах на большие высоты) процессы теплообмена тела с ним менее интенсивны. В обоих случаях возможно появление дополнительных ошибок.

При изменении газового состава воздуха его теплоемкость меняется, что также может приводить к изменениям оценок его температуры. Это существенно, например, при использовании аппаратов искусственной вентиляции легких с применением воздуха, обогащенного кислородом; газовых смесей для погружений под воду, в которых азот заменен на гелий и пр.

В практическом отношении важны оценки ошибок восприятия температур воздуха при различных влажностях и скоростях его движения. Поэтому конструкция ПАК для таких исследований должна позволять регулировать эти параметры. Возможны такие варианты технических

решений. (а) Помещение конечности человека в камеру, изолированную от внешней для нее воздушной среды. В такой камере достаточно удобно регулировать «температуру – влажность – скорость движения воздуха» (ТВСДВ), однако условия восприятия будут «неестественными». (б) Размещение испытуемого в помещении с регулируемыми ТВСДВ. При этом тестирование может осуществляться: (*t1*) только в отношении восприятия температуры; (*t2*) дополнительно еще в отношении «влажности» и «скорости движения воздуха», т.е. трех параметров одновременно. (в) Комбинация вариантов «б» и «а». При этом могут ставиться тестовые задачи на оценку наличия различий в параметрах среды «в комнате» и «в камере»; знаков таких различий; полуколичественных оценок величин этих различий и пр.

Возможны такие варианты тестирования. (*r1*) Со ступенчатым изменением параметров и вводом испытуемым «ответов» в нужные моменты времени – например, при включении светового индикатора. (*r2*) С плавным изменением параметров – ввод ответов также в задаваемые моменты времени. (*r3*) Непрерывное «отслеживание» испытуемым изменений температуры (или трех параметров сразу) и перемещение им соответствующих регуляторов. Для варианта «*r1*» возможно использование и режима тренинга. При этом для испытуемого после ввода им ответов в порядке обратной связи воспроизводятся фактические значения параметров. (*r4*) Оценки испытуемым совпадений/несовпадений воспринимаемых значений параметров для симметричных частей тела, помещенных в разные камеры с независимо регулируемыми параметрами воздушной среды. Фиксация восприятия отличий возможна голосовая по типам: «Да – Нет»; «Больше – Равно – Меньше».

При необходимости регулирования ТВСДВ ПАК должен иметь такие устройства: ЭН воздуха; датчик температуры воздуха; увлажнитель; датчик влажности; ЭВ с регулируемой скоростью вращения. Это обеспечит возможности «одностороннего» регулирования параметров – с превышениями над «базовыми» значениями (например, для варианта «а» ими будут являться параметры воздушной среды в комнате). Также отметим, что для «замкнутой камеры» в изменении температуры и влажности воздуха будет значительно участвовать и сам человек – за счет процессов теплоотдачи с его тела и испарения пота.

Информативные показатели для данного направления тестирования: абсолютные ошибки оценок – только температуры или и других двух параметров тоже; динамика изменения ошибок оценок во времени; изучение процессов «адаптации» испытуемого к температурным (или тепло-влажностным) условиям и пр.

Непосредственное контактное восприятие температуры жидкостей. Температура жидкости (по умолчанию будем иметь в виду воду) может оцениваться для таких вариантов. (а) В неподвижном объеме жидкости – например, в некоторой емкости: банка или кувшин, ванна для погружения тела и пр. (б) В сплошном потоке жидкости. (в) Для единственной струи жидкости, в том числе воздействующей на тело человека под значительным давлением. (г) Для совокупности струек жидкости – например, при принятии душа. (д) Для отдельных капель жидкости. Отметим, что в силу большей теплоемкости капель масла они могут приводить к локальным ожогам в тех случаях, когда равные по размеру и температуре капли воды такого эффекта не дадут.

Оценка температур жидкости может осуществляться различными участками тела, в том числе пальцами или кистями рук, погружаемыми в объемы жидкости.

Один из возможных вариантов ПАК для исследований по данному направлению. (а) Используются несколько емкостей с водой с независимо устанавливаемой и/или изменяемой температурой. (б) Для контроля температур используются терморезисторы. (в) Если применяются ЭН, то температуры жидкостей могут быть только выше комнатных. (г) Для обеспечения температур ниже комнатных могут применяться такие решения: «набор» холодной воды из-под крана; предварительное охлаждение воды в холодильнике; применение охлаждающих элементов Пельтье (ЭП).

Методика проведения тестирования – испытуемый ненадолго погружает в емкости с водой пальцы; оценивает температуры воды в емкостях; затем вводит ответы в ПАК. Варианты реализации: (а) последовательное «опробывание» разных емкостей одним и тем же пальцем; (б) независимое одновременное оценивание температур в разных емкостях разными пальцами, в том числе и на разных руках. В серии ТЗ температуры жидкостей в емкостях могут меняться, а опробывание – повторяться.

Возможные постановки задач в ТЗ: оценка равенства температур в двух емкостях; выявление превосходства температур в одной из емкостей (ответы типа «Больше – Равно – Меньше»; выявление емкости (одной из нескольких) с наибольшей и/или наименьшей температурой. Для варианта «а» дополнительным источником ошибок может быть влияние предыдущих «погружений пальца» на результаты последующих оценок.

Для описываемого ПАК могут быть использованы и ТЗ на оценку устойчивости «памяти на температуру». Например, один и тот же палец погружается в одну и ту же емкость с разницей в 1–2 минуты. При этом могут ставиться вопросы о: (*q1*) наличии изменения температуры, (*q2*) ее направленности, (*q3*) величине изменения температуры. Для «*q1*», предполагающего только бинарные

ответы, возможны ошибки 1-го и 2-го родов. Для случая «q2» вариантов неверных ответов может быть больше. Для «q3» целесообразно количественное определение ошибок для оценок температур.

Если палец (или пальцы) находится в емкостях с жидкостью непрерывно, то возможны ТЗ на оценки наличия и направлений изменения температуры.

Информативны: правильности определения соотношения температур жидкостей в емкостях; точности абсолютных определений температур и пр.

Для описанного направления возможно использование тренировочных режимов – с доведением до испытуемых «правильных» результатов после каждого ТЗ.

В клинической практике для оценки температурной чувствительности пальцев рук обычно используется такая методика. В две стеклянные пробирки наливают холодную и теплую (горячую) воду. Испытуемого просят взять эти пробирки в руки и сказать, где «холодная» пробирка, а где «теплая». Оценку «температурной чувствительности» можно дать, например, по величине минимального «порога восприятия» испытуемым наличия разности температур. Недостатки методики: она не очень технологична; оценивается фактически температура стенки пробирки – при этом на результаты может влиять «плотность контакта» пальца с пробиркой, некоторые иные факторы.

Восприятие на ощупь температуры объектов, имеющих определенную форму (ОИОФ). Такое выражение мы используем по необходимости, так как термин «твердое тело» относится только к объектам, имеющим кристаллическую решетку. Поэтому к «твердым телам» нельзя отнести, например, стекло и пластмассы. По умолчанию будем считать, что контакт тестируемого с ОИОФ осуществляется с помощью кончиков пальцев рук. При этом оценка температуры поверхности ОИОФ может значительно зависеть от характера этой поверхности, а также от коэффициентов теплопроводности и теплоемкости ОИОФ. Причина – при контакте пальца с ОИОФ имеют место процессы теплопередачи: между пальцем и ОИОФ; внутри ОИОФ; внутри пальца. При этом могут изменяться температуры кончика пальца и локального участка ОИОФ.

При тестировании для задания температур ТО могут использоваться нагреваемые электрическим током элементы, в том числе в сочетании с ЭВ. Более удобный вариант – ЭП, которые позволяют обеспечить температуры ТО и выше комнатных, и ниже. Однако малогабаритные ЭП имеют малую толщину и достаточно высокую температуропроводность. Поэтому если не используется воздушное охлаждение «нерабочей стороны» ЭП, то обеспечить значительную и постоянную во времени разницу температур на двух сторонах ЭП нельзя.

Ранее [4] авторами уже был предложен ПАК на основе ЭП, некоторые методики тестирования на его основе. Ниже описывается измененный вариант ПАК, а затем совокупности методик, часть которых – новые.

Конструкция ПАК включает в себя основной блок (ОБ); пульт тестируемого лица (ПТЛ), соединенный с ОБ по кабелю. Тестируемый сидит за столом, на котором размещены ОБ и ПТЛ; он может перемещать ОБ и ПТЛ в удобное для себя положение.

ОБ – это блок прямоугольной формы. Внутри него находятся: (а) микроконтроллер (МК), выполняющий записанную в него программу по управлению температурами ТО; интерфейс с пользователем; (б) динамик, позволяющий передавать тестируемому лицу информацию в вербальной форме, создавать звуковые помехи. Электропитание ПАК может осуществляться от USB-порта ПЭВМ или от внутреннего аккумулятора. Кроме того, через USB-порт может выполняться передача информации с ПАК на ПЭВМ; (в) терморезистор – для определения температуры воздуха вне ОБ; вывода этой температуры на дисплей; (г) датчик влажности – для определения и визуализации влажности воздуха вне ОБ. «Чувствительные элементы» датчиков температуры и влажности через отверстия в боковой стенке выведены наружу ОБ. Над верхней стенкой ОБ симметрично по ее ширине размещены два RGB-светодиода (СД). Они предназначены для передачи тестируемому лицу «визуальной информации». Предполагается, что «красные тона» ассоциируются тестируемым лицом с теплом, а «синие тона» – с холодом. Над верхней стенкой ОБ посередине между СД в сагиттальной плоскости может устанавливаться вертикальная ширма-перегородка. Она позволяет обеспечить раздельное восприятие СД левым и правым глазами. На передней стенке ОБ находится двухстрочный монохромный алфавитно-цифровой дисплей, позволяющий воспроизводить по 16 символов в каждой строке. Дисплей обеспечивает: вывод оперативных «указаний» тестируемому; отображение значений параметров в процессе выполнения ТЗ при тестировании/тренинге; вывод результатов по ТЗ и/или тесту в целом. Справа от дисплея друг над другом размещены два нажимных микропереключателя (НМП). Они служат для «пролистывания» на дисплее строчек с информацией «вверх» и «вниз» – если требуется отображать больший объем информации, чем умещается в две строки.

ПТЛ представляет собой панель, на которой расположены ТО в виде ЭП, органы регулирования и управления (ОРИУ) (рис.). Внутри панели располагаются ЭВ, обдувающие нижние (нерабочие) стороны ЭП, расположенных горизонтально. В боковых стенках панели есть отверстия для прохода воздуха.

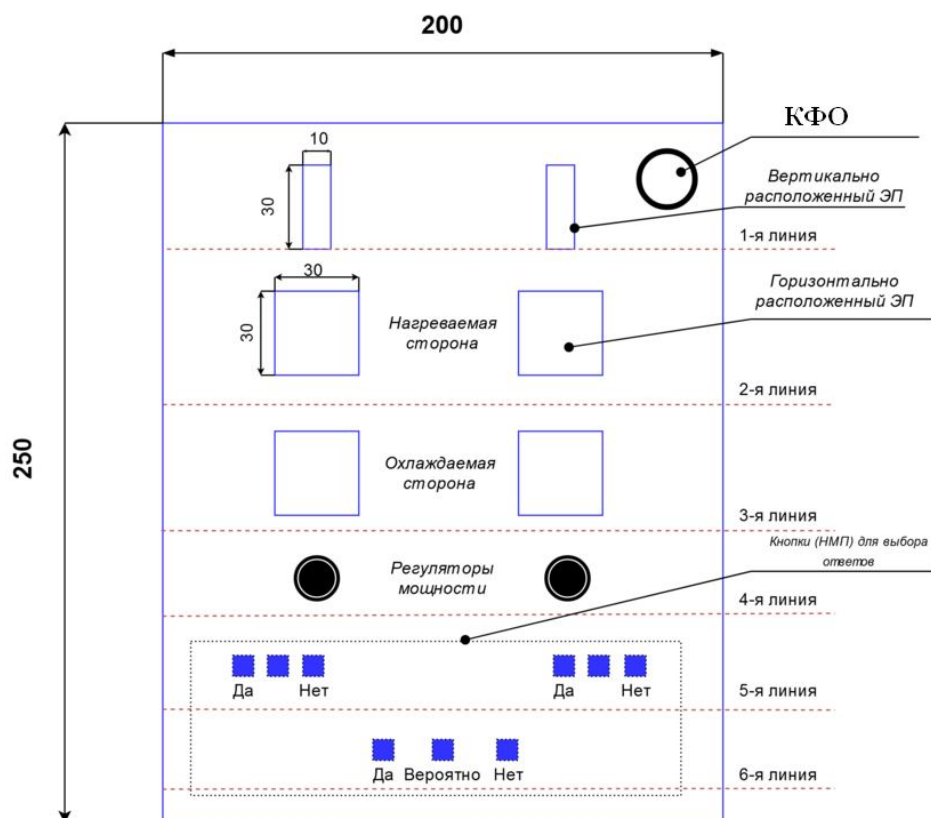


Рисунок – Общая схема размещения на ПТЛ «тест-объектов» и ОРУ (не показаны светодиоды для подсветки отдельных объектов при выполнении ТЗ)

Над ПТЛ на шести параллельных «линиях» размещено следующее.

(а) Тест-объекты, температуру которых испытуемый может (должен) оценивать, сравнивать или мониторировать. Ими являются ЭП размером 30×30 мм (для использования кончика одного пальца этого достаточно). Питание ЭП и ЭВ предусматривается от отдельных источников постоянного напряжения (независимо от ОБ). Несмотря на небольшие размеры ЭП, они обладают некоторой тепловой инерцией, и это приходится учитывать при разработке методик. (б) ОРУ, предназначенные для тестируемого. При этом для изменения интенсивности нагрева-охлаждения ЭП используется широтно-импульсная модуляция их напряжения питания, программно управляемая МК.

На первых трех линиях расположены ТО в виде ЭП. Использование однотипных ТО (только ЭП), по мнению авторов, предпочтительно по сравнению с вариантом комбинирования в ЭП с ЭН.

Линия 1 на ПТЛ – ближайшая к ОБ. На ней в вертикальном положении размещены левый ЭП (ЛЭП1) и правый ЭП (ПЭП1). Доступность двух сторон ЭП потенциально позволяет реализовывать ТЗ на сравнение температур двух поверхностей ЭП с использованием пальцев одной и той же или разных кистей.

Линия 2 – на ней в горизонтальном положении «нагреваемой» стороной вверх размещены два ЭП (ЛЭП2, ПЭП2). Они дают возможность оценивать в ТЗ наличие нагрева поверхности ЭП, температуру поверхности, изменение температуры во времени.

Линия 3 – на ней в горизонтальном положении «охлаждаемыми» сторонами вверх размещены ЛЭП3 и ПЭП3. Эти ЭП дают возможность оценивать в ТЗ наличие охлаждения, его величину, изменение величины охлаждения во времени.

На последующих линиях находятся ОРУ. На линии 4 – ручки двух вращаемых переменных резисторов. Они предназначены для регулирования уровней (интенсивностей) нагрева, соответствующих ЛЭП и/или ПЭП. Вращаемые резисторы более удобны, чем «ползунковые регуляторы». Линия 5 содержит левую и правую группы НМП (по три НМП в каждой). Эти НМП предназначены для ввода ответов испытуемых типов «Да – Нет» или «Да – Вероятно – Нет» соответственно для ЛЭП и/или ПЭП. На линии 6 посередине ширины ПТЛ расположены три НМП. Они служат для ввода ответов испытуемых типов «Да – Вероятно (Может быть) – Нет». Эти НМП предназначены для

оценки (сравнения) тестируемыми ощущениями для ТО: (а) поверхностей ЛЭП1 или ПЭП1 на «Линии 1»; (б) для ЛЭП2 и ПЭП2 на «Линии 2»; (в) для ЛЭП3 и ПЭП3 на «Линии 3».

В правом верхнем углу ПТЛ находится нажимная кнопка фиксации ответа (КФО) или ответов. В основном – при окончании «подбора» значений с помощью переменных резисторов на «линии 4». Предназначение ЭП и ОРИУ «расшифровано» для испытуемых с помощью надписей возле них на ПТЛ. Кроме того, все эти объекты могут подсвечиваться маломощными СД белого цвета – для указания испытуемым того, с чем они могут (должны) работать в конкретный момент времени в ТЗ.

Описанная номенклатура ТО в сочетании с ОРИУ дает большие возможности разработки методик тестирования/тренинга, в том числе получения и обработки «нечетких» ответов испытуемых лиц, использующих варианты типа «Может быть».

Некоторые общие особенности организации методик тестирования и тренинга. Будем считать, что один тест состоит из серии ТЗ. В пределах теста ТЗ могут быть разных типов. Задание режимов тестирования/тренинга в тестах осуществляется тестологом по запросам, отображаемым на дисплее. При этом используются те же ОРИУ ПТЛ, однако их функциональность иная, чем при тестировании/тренинге.

В каждом из ТЗ интенсивности нагрева и/или охлаждения ЭП могут задаваться так. (а) Выбираться из предопределенного набора значений – последовательно по списку в сценарии или в случайном порядке. (б) Выбираться случайно в заданных интервалах. (в) Устанавливаться адаптивно – с учетом результатов (величин ошибок), полученных по одному или нескольким предыдущим ТЗ.

Отметим такие особенности реализации методик. (а) Время выполнения некоторых типов ТЗ целесообразно ограничивать. При этом существенно, что в силу тепловой инерционности ЭП, моменты начала «оценки» испытуемыми температур ТО может быть необходимо «задерживать» перед каждым контактом с ними кончиков пальцев испытуемых. Для этой цели могут применяться следующие решения: подсветка СД необходимых ЭП и/или ОРИУ; выдача указаний на дисплее; звуковая сигнализация; голосовые указания через динамик. (б) После «ощупывания» поверхностей ЭП испытуемый может «снять» с них пальцы и использовать их для нажатия нужных НМП – по сигналам подсветки СД. (в) На результаты тестирования могут влиять значительные локальные отличия температур кончиков пальцев рук от температуры тела в целом. Поэтому может быть целесообразным определение температур кончиков пальцев с помощью контактных электронных термометров до начала тестирования.

Описание методик тестирования и тренинга. Для большинства описываемых далее методик «на сравнение температур» или «разниц температур» предполагается, что тестируемый может одновременно оценивать температуры сравниваемых ТО. Однако возможно и изучение «тепловой памяти» тестируемых лиц. Тогда после однократного «опробывания» температуры первого «объекта-образца» может следовать обязательная пауза по времени, и только потом выполняться «опробывание» того же или иного ТО.

Аналогично для заданий на установку температуры «управляемого ТО» опробывание «объекта-образца» может осуществляться только однократно. И затем после обязательной паузы тестируемым должно устанавливаться значение температуры для управляемого им ТО. Это также способ оценки «тепловой памяти».

При тестировании ХВТОЧ могут дополнительно применяться воздействия на тестируемого по визуальным и слуховым каналам, в том числе для изучения его «концентрации внимания». (п1) *Визуальные помехи.* Подсветка RGB-СД: одного или сразу двух. Цель – оценить, есть ли влияние «цветовых воздействий» на качество и «скорости» ответов испытуемых, включая доли «правильных» и «неправильных» ответов; ответов типа «Может быть». (п2) *Звуковые помехи* в виде шумов переменной громкости/тональности – могут воспроизводиться во всех (или части) ТЗ в серии заданий. (п3) Вербальные воздействия в виде «голосовых подсказок» для ответов типов «Да – Нет» и «Да – Может быть – Нет». Для конкретных ТЗ эти подсказки могут быть «правильными» или «неправильными». При этом можно оценить, насколько тестируемый устойчив к такому «навязыванию» ответов.

Мы дадим описание методик с иерархией: совокупность групп; группы; отдельные методики. Перечень методик – достаточно подробный, но не исчерпывающий.

(А) Работа с количественными значениями температур

1. Оценки тестируемым абсолютных температур поверхностей ЭП – нагреваемых или охлаждаемых. (1.1) Испытуемый должен «опробовать» поверхность ЛЭП2 кончиком одного из пальцев; мысленно оценить величину температуры; затем с помощью левого регулятора, на «линии 4» подобрать значение температуры, соответствующей поверхности ЛЭП2 (это значение при подборе отображается на дисплее с точностью до 0,1 градуса). Для фиксации ответа нажимается КФО на ПТЛ. Информативны: величины ошибок; знаки ошибок; зависимость величин ошибок от фактической температуры

ЛЭП2. (1.2) Аналогичное задание, но для ПЭП2. Ответ подбирается с помощью правого регулятора на «линии 4», затем нажимается КФО. (1.3) В одном ТЗ оцениваются температуры на ЛЭП2 и ПЭП2. Числовые ответы подбираются с помощью левого и правого регуляторов на «линии 4», затем нажимается КФО. (1.4) Для тестирования используется ЛЭП3 (охлаждаемый), в остальном это задание аналогично «1.1». (1.5) Для тестирования используется ПЭП3 (охлаждаемый), в остальном – задание аналогично 1.2. (1.6) Аналог 1.3, но одновременно используются ЛЭП3 и ПЭП3.

2. ТЗ на установку заданных значений температур. (2.1) На дисплее отображается значение температуры выше комнатной, которую надо установить на ЛЭП2 с помощью левого регулятора на «линии 4». Фиксация ответа – кнопкой КФО. Информативны: величины ошибок и их знаки; времена подбора температур. (2.2) Аналог 2.1, но используется ПЭП2 и правый регулятор на «линии 4». (2.3) На дисплее отображается значение температуры ниже комнатной. Ее надо установить на ЛЭП3 с помощью левого регулятора на «линии 4». Затем нажимается КФО. (2.4) Аналог 2.3, но используется ПЭП3 и правый регулятор на «линии 4».

(В) Оценки наличия и «знака» одной разницы температур на поверхностях ЭП.

3. Оценка наличия разностей температур на двух поверхностях одного вертикально расположенного ЭП. Цели методик этой группы: определение «порогов чувствительности» к различиям в температурах для разных комбинаций пальцев. В этой группе не оценивается, какая сторона ЭП более теплая, а какая более холодная. (3.1) С помощью программы, запущенной на МК, на короткий период времени (для определенности – на 20 секунд) на ЛЭП1 подается (или не подается) некоторая мощность. Тестируемый по истечении этих 20 секунд должен оценить наличие (или отсутствие) различий в температурах двух сторон ЛЭП1 с помощью кончиков двух пальцев. В частном случае мощность на ЛЭП1 не подается – это позволяет выявить «ложное ощущение» наличия разницы температур. В данном ТЗ возможны такие комбинации двух пальцев. (а) Большой палец и один из других четырех пальцев той же кисти. Тест может проводиться независимо для левой и правой кистей рук. (б) Любые сочетания двух пальцев, относящихся к разным кистям рук. Возможны два варианта ответов. (v1) «Да – Нет» – при этом используются только два крайних НМП в левой группе НМП на «линии 5»: левый НМП – «Да», правый – «Нет». Возможны ошибки 1-го рода (не определяется наличие разницы, когда она фактически есть) и 2-го рода – определяется разница, когда ее фактически нет. (v2) Ответы типа «Да – Может быть – Нет». Используются все три НМП в группе, причем средний НМП соответствует «Может быть». Применение ответов «Может быть» позволяет выявлять зоны «уверенного» и «неуверенного» различения для разниц температур поверхности ЭП. (3.2) Это аналог «1.1», но в качестве ТО используется ПЭП1, а для ввода ответов – правая группа НМП на «линии 5» ПТЛ. Помимо использования схем «ЛЭП1 – пальцы левой кисти», «ПЭП1 – пальцы правой кисти», возможны и «перекрестные схемы»: «ПЭП1 – пальцы левой кисти», «ЛЭП1 – пальцы правой кисти». Сравнение результатов для пальцев разных кистей рук позволяет обнаружить некоторые патологии нервных путей проведения сигналов. (3.3) Это комбинация «3.1» и «3.2» – оценка наличия разниц температур одновременно оценивается на ЛЭП1 и ПЭП1 по истечении указанных выше 20 сек. Ввод ответов – по результатам опробывания (ощупывания) обоих ЭП осуществляется с помощью двух групп НМП на «линии 5». В «3.3» возможны «перекрестные влияния» ощущений для разниц температур на ЛЭП1 и ПЭП1. Поэтому важна оценка долей одновременно и разновременно допускаемых ошибок для двух ЭП.

4. Оценка наличия разницы температур на горизонтальной поверхности ЭП и в окружающем воздухе. (4.1) На ЛЭП2 подается (или не подается) некоторая мощность. Тестируемый должен оценить, есть ли нагрев ЛЭП2 по сравнению с температурой воздуха в комнате. Для «опробывания» поверхности ЛЭП2 может использоваться кончик любого пальца, но лучше – левой кисти. Для ввода ответов используется левая группа НМП на «линии 5» с вариантами ввода ответов v1 и v2. В этом типе ТЗ (как, впрочем, и иных ТЗ группы) могут «поодиночке» тестироваться разные пальцы, что позволяет выявить «локальные патологии». (4.2) На ПЭП2 подается (или не подается) некоторая мощность. Тестируемый должен оценить, есть ли нагрев ЛЭП2 по сравнению с температурой в комнате. Для опробывания поверхности ПЭП2 может использоваться любой палец – по умолчанию, правой руки. Для ответов может использоваться правая группа НМП на «линии 5» с вариантами ответов v1 и v2. (4.3) На ЛЭП3 подается (или не подается) мощность. Тестируемый должен с помощью кончика любого пальца оценить, есть ли охлаждение ЛЭП3 по сравнению с температурой в комнате. Для ответов может использоваться левая группа НМП на «линии 5» с вариантами ответов v1 и v2. (4.4) На ПЭП3 подается (или не подается) некоторая мощность. Тестируемый должен оценить, есть ли охлаждение ПЭП3 по сравнению с температурой в комнате. Для ответов может использоваться правая группа НМП на «линии 5» с вариантами ответов v1 и v2.

5. Оценка наличия и «знака» разницы температур на поверхностях двух горизонтально расположенных ЭП. (5.1) Независимо друг от друга на ЛЭП2 и ПЭП2 под управлением программы,

запущенной на МК, непрерывно подаются (или не подаются) некоторые мощности. Тестируемый должен оценить наличие (или отсутствие) различий в температурах нагрева поверхностей ЛЭП2 и ПЭП2. При этом возможны такие варианты: обе поверхности сохраняют комнатную температуру (мощности на ЭП не поданы или они слишком малы); поверхность одного из ЭП нагревается, а другая остается при комнатной температуре; обе поверхности ЭП нагреваются – до одинаковой или до разных температур. Для ввода ответа предполагается использование НМП, расположенных на «линии 6» – с вариантами ответов v1 или v2. Нажимается левый НМП, если тестируемому более теплой кажется поверхность левого ЭП; правая НМП – если правого ЭП; средний НМП – если температуры кажутся одинаковыми. В общем случае нижний порог восприятия разницы температур зависит и от самих температур. При изучении такой зависимости в качестве «аргумента» может быть взята меньшая из двух температур ЭП. (5.2) Аналог «5.1», но используются охлаждаемые поверхности ЛЭП3 и ПЭП3. Для ввода ответа нажимается левый НМП на «линии 6», если менее холодной (более теплой) кажется поверхность левого ЭП; правый НМП – если правого ЭП; средний НМП – если температуры кажутся одинаковыми. Для вариантов ТЗ 5.1 и 5.2 могут использоваться также «подсказки» с помощью подсветки RGB-СД. Обычно красный цвет ассоциируется с более теплым ЭП, а синий – с более холодным [1]. Такие подсказки могут быть «правильными» или «неправильными» – это позволяет оценить устойчивость тестируемого к внешним помехам (фактически – концентрацию внимания). Применение RGB-СД позволяет плавно управлять цветовыми оттенками и яркостями свечения СД. Это расширяет методические возможности демонстрации «верных» или «неверных» подсказок, в том числе при разных уровнях нагрева поверхностей ЭП (для 5.1) или их охлаждения (для 5.2). Возможны и «шумовые воздействия»; «вербальные подсказки» – правильные и неправильные.

(С) Оценки наличия и «знака» двух разниц температур на поверхностях ЭП.

6. Сравнение разниц температур на двух сторонах вертикально расположенных ЭП. (6.1) Независимо на ЛЭП1 и ПЭП1 кратковременно (например, на 20 секунд) подаются (или не подаются) некоторые мощности. По истечении 20 секунд тестируемый должен оценить, на каком из ЭП разница температур выше. Для ввода ответа используются НМП на линии 6: левый НМП – если разница кажется большей на ЛЭП1; правый НМП – если на ПЭП1; средний НМП – если разницы кажутся одинаковыми. Так же как и ранее, возможны «верные и неверные» подсказки с помощью RGB-СД и вербальные. (6.2) Независимо непрерывно подаются (или не подаются) мощности на четыре ЭП: ЛЭП2, ЛЭП3, ПЭП2, ПЭП3. Тестируемый должен сравнить разницы температур между двумя парами ЭП: «ЛЭП2-ЛЭП3» и «ПЭП2-ПЭП3». При этом для левой пары ЭП используются пальцы левой кисти, а для правой пары – правой кисти. В качестве ответа вводится «пара» ЭП (левая или правая): левый НМП на линии 6 – если разница больше на «левой паре» ЭП; правый НМП – если на правой; средний НМП – при ощущении равенства разниц. Подчеркнем, что для этого ТЗ сами «пары температур», «обеспечивающие» разницы, могут для пар ЭП отличаться. Для этой группы методик также возможны «верные и неверные» подсказки с помощью RGB-СД, шумовые помехи и вербальные.

(D) Подбор тестируемым одинаковых температур поверхностей.

7. Разовый подбор одинаковых температур поверхностей. (7.1) Температура ЛЭП2 устанавливается программой. Тестируемый должен опробовать ЛЭП2, затем подобрать на ПЭП2 аналогичную температуру. Подварианты: (а) тестируемый однократно касается ЛЭП2, а затем подбирает температуру на ПЭП2 «по памяти»; (б) тестируемый может многократно касаться ЛЭП2 в процессе подбора или держать на ней палец. После окончания подбора нажимается КФО. Информативны: величины ошибок подбора; знаки этих ошибок; зависимость ошибок от фактической температуры ЭП, управляемого программой; длительности подбора температур. (7.2) Аналог 7.1, но программа управляет температурой ПЭП2, а испытуемый – ЛЭП2. (7.3) Температура ЛЭП3 устанавливается программой, а тестируемый должен подобрать на ПЭП3 аналогичную температуру и нажать КФО. (7.4) Температура ПЭП3 устанавливается программой, а тестируемый должен подобрать на ЛЭП3 аналогичную температуру; нажать КФО. **8. Регулирование тестируемым температуры ЭП в «режиме сопровождения».** (8.1) Температура ЛЭП2 управляется программой. Эта температура в некоторые промежутки времени остается постоянной, а в некоторые – меняется (скачкообразно или плавно). Тестируемый должен: контролировать температуру ЛЭП2 размещенным на ней кончиком пальца; непрерывно «подбирать» на ПЭП2 такую же температуру, контролируя ее – другим пальцем той же кисти. Для вращения правого регулятора на «линии 4», управляющего подаваемой на ПЭП2 мощностью, используются пальцы свободной кисти. Информативны такие результаты: максимальные отклонения подбираемых температур в большую и меньшую сторону по отношению к ЛЭП2; среднеинтегральное значение отклонения за период выполнения ТЗ (например, 2 минуты); времена «запаздывания реакций» тестируемого на изменения температуры ЛЭП2; влияние скоростей изменений температуры на результаты. (8.2) Аналог 8.1, но температура ПЭП2 управляется программой, а тестируемый должен подобрать на ЛЭП2 аналогичную температуру. (8.3) Аналог 8.1, но температура ЛЭП3

управляется программой, а тестируемый должен подбирать на ПЭПЗ аналогичную температуру. (8.4) Аналог 8.1, но температура ПЭПЗ управляется программой, а тестируемый должен подбирать температуру на ЛЭПЗ.

(Е) Подбор тестируемым одинаковых разниц температур поверхностей.

9. Разовый подбор тестируемым одинаковой разницы температур для двух ЭП. (9.1) На паре «ЛЭП2–ЛЭП3» программой задается определенная разница температур. Тестируемый должен подобрать с помощью регуляторов на «линии 4» такие температуры для ПЭП2 (левый регулятор) и ПЭП3 (правый регулятор), чтобы разница их температур была одинакова с парой «ЛЭП2–ЛЭП3». (9.2) На паре «ПЭП2–ПЭП3» программно задается определенная разница температур. Тестируемый должен подобрать с помощью регуляторов на «линии 4» такие температуры для ЛЭП2 (левый регулятор) и ЛЭП3 (правый регулятор), чтобы была обеспечена такая же разница температур.

10. ТЗ на «сопровождение» разницы температур. (10.1) На ЛЭП2 и ЛЭП3 под управлением программы, запущенной на МК, подается определенная мощность, обеспечивающая разницу температур поверхностей двух ЭП. В некоторые периоды времени в течение ТЗ (его продолжительность для определенности примем в 2 мин.) эта мощность может меняться – плавно или скачкообразно. Тестируемый с помощью двух регуляторов на «линии 4» должен подстраивать мощности на паре «ПЭП2–ПЭП3» для обеспечения одинаковой разницы температур. (10.2) Это аналог «10.1», но программно управляется разница температур для пары «ПЭП2–ПЭП3», а тестируемый должен непрерывно подстраивать аналогичную разницу для «ЛЭП2–ЛЭП3».

(Е). Выявление «моментов совпадения» температур и «разниц температур».

11. ТЗ на выявление моментов совпадения температур. (11.1) Температура на ЛЭП2 программой устанавливается фиксированной, а на ПЭП2 плавно меняется. Тестируемый мониторирует эти температуры, и в моменты их совпадения нажимает средний НМП на «линии 6». При этом возможен некоторый «гистерезис» для определения моментов совпадения при увеличении и уменьшении температуры. (11.2) Аналог 11.1, но температура на ПЭП2 фиксирована, а на ЛЭП2 – меняется. (11.3) Аналог 11.1, но температура на ЛЭП3 фиксирована, а на ПЭП3 – меняется. (11.4) Аналог 11.1, но температура на ПЭП3 фиксирована, а на ЛЭП3 – меняется. (11.5) Программой достаточно плавно и независимо друг от друга изменяются температуры для ЛЭП2 и ПЭП2. Тестируемый должен нажимать средний НМП на «линии 6» в моменты совпадения температур. (11.6) Аналог «11.5», но температуры меняются на ЛЭП3 и ПЭП3.

12. ТЗ на выявление моментов совпадения «разниц температур». (12.1) Программой, запущенной на МК, разница температур на паре «ЛЭП2–ЛЭП3» фиксируется, а на паре «ПЭП2–ПЭП3» – меняется. Тестируемый должен обнаруживать моменты совпадения этих разниц и в эти моменты нажимать средний НМП на «линии 6». (12.2) Аналог 12.1, но программой фиксируется разница температур на паре «ПЭП2–ПЭП3», а на «ЛЭП2–ЛЭП3» она меняется. Действия тестируемого аналогичны варианту 12.1. (12.3) Аналог 12.3, но программой плавно и независимо друг от друга меняются разницы температур на парах «ПЭП2–ПЭП3» и «ЛЭП2–ЛЭП3». Испытуемый, как и ранее, должен обнаруживать моменты совпадения двух разниц и в эти моменты нажимать средний НМП на «линии 6».

Заключение. 1. Тестирование характеристик температурной чувствительности тела человека, и особенно кончиков пальцев рук, имеет важное значение для решения «медицинских задач», для профессионального отбора, при проведении психофизиологических исследований. 2. Для тестирования этих характеристик необходимо использование специальных методик, ПАК и программного обеспечения для них. 3. На примере ПАК для тестирования характеристик температурной чувствительности кончиков пальцев рук показано, что могут исследоваться различные виды таких характеристик. При этом для каждого вида могут быть использованы различные методики. 4. Помимо тестирования для рассматриваемых в статье характеристик могут быть использованы и тренировочные режимы. Их отличиями могут быть следующие особенности: комментирование тестируемому допускаемых им ошибок и «неточностей»; использование «адаптивных режимов» управления сложностью ТЗ; отсутствие ограничений по времени выполнения ТЗ при подборе параметров и пр. 5. Описанные методики могут быть применены для отдельных физических лиц (в том числе и для отслеживания динамики их показателей во времени); для групп физических лиц, отобранных по определенным критериям. 6. С целью накопления получаемых при тестировании результатов целесообразно использование компьютерной «базы данных», а для их обработки – методов статистического анализа.

Библиографический список

1. Патент на изобретение RU 2546976 С2, 10.04.2015. Система цветного освещения для воздействия на восприятие температуры окружающей среды / Й. П. В. Байенс, С. Х. М. Порт, Л. Й. М. Схланген. – № 2012102254/07; заявл. 15.06.2010.
2. Бочаров М. И. Терморегуляция организма при холодовых воздействиях (обзор). Сообщение I / М. И. Бочаров // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки. – 2015. – № 1. – С. 5–15.

3. Брумштейн Ю. М. Системный анализ направлений, методов и технических средств изучения чувствительности кончиков пальцев рук / Ю. М. Брумштейн // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии (ФРЭМЭ'2016) : труды XII Международной научной конференции. – Владимир, 2016. – Кн. 1. – С. 311–315.
4. Брумштейн Ю. М. Методы и аппаратно-программные решения для исследования контактной температурной чувствительности кончиков пальцев рук / Ю. М. Брумштейн, А. С. Чурюмова, Д. И. Коновалова // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2018 : сб. статей Всерос. школы-семинара. – Саратов : Саратовский источник, 2018. – С. 55–58.
5. Патент на изобретение RU 2479249 C2, 20.04.2013. Устройство для определения плотности холодовых и тепловых рецепторов на участке кожного покрова пациента / А. И. Грядун, Д. И. Невский, О. Н. Серова. – № 2011109059/14 ; заявл. 11.03.2011.
6. Иванов К. П. Физиология терморегуляции: руководство по физиологии / К. П. Иванов. – Ленинград : Наука, 1984. – 470 с.
7. Диверт В. Э. Влияние скорости нарастания температуры стимула на пороги локальных кожных термоощущений / В. Э. Диверт // Физиология человека. – 2002. – Т. 28, № 5. – С. 74–80.
8. Диверт В. Э. Влияние местных барометрических воздействий на пороги кожных термоощущений / В. Э. Диверт // Сенсорные системы. – 2004. – Т. 18, № 1. – С. 56–64.
9. Диверт В. Э. Температурная чувствительность кожи при гипоксии / В. Э. Диверт // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. – 2004. – Т. 90, № 8. – С. 40.
10. Казаков В. Н. Центральные механизмы терморегуляции / В. Н. Казаков, В. Ф. Андреева // Архив клинической и экспериментальной медицины. – 2018. – Т. 27, № 2. – С. 5–24.
11. Козырева Т. В. Функциональное значение динамической активности холодовых рецепторов кожи / Т. В. Козырева, Л. А. Верхогляд // Физиол. журн. СССР им. И.М. Сеченова. – 1989. – Т. 75, № 1. – С. 117–123.
12. Медведев А. А. Особенности и механизмы температурной чувствительности (обзор) / А. А. Медведев, Л. В. Соколова // Журнал медико-биологических исследований. – 2019. – Т. 7, № 1. – С. 92–105.
13. Неживая Ю. Н. Системный анализ проблематики управления процессами реабилитации кистей и пальцев рук / Ю. Н. Неживая, Е. С. Травова, А. Е. Водопьянов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3. – С. 85–99.
14. Температурная чувствительность. Тепловые рецепторы. Холодовые рецепторы. Температурное восприятие. – Режим доступа: <https://meduniver.com/Medical/Physiology/289.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 04.05.2020).
15. Улащик В. С. Рецепторы кожи и лечебные физические факторы / В. С. Улащик // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры. – 2017. – Т. 94, № 5. – С. 48–57.
16. Hensel H. Thermoreception and Temperature Regulation in Man / H. Hensel, K. Schafer // Recent Advances in Medical Thermology. – Boston, 1984. – P. 51–64.

References

1. Bayens Y. P. V., Port S. Kh. M., Skhlangen L. Y. M. *Patent na izobretenie RU 2546976 C2, 10.04.2015. Sistema tsvetnogo osveshcheniya dlya vozdeystviya na vospriyatie temperatury okruzhayushchey sredy* [Patent for invention RU 2546976 C2, 10.04.2015. Color lighting system to influence environmental temperature perception], no. 2012102254/07 ; declared of 15.06.2010.
2. Bocharov M. I. *Termoregulyatsiya organizma pri kholodovykh vozdeystviyakh (obzor). Soobshchenie I* [Thermoregulation of the body under cold effects (review). Report I]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federalnogo universiteta. Seriya: Mediko-biologicheskie nauki* [Bulletin of the North (Arctic) Federal University. Series. Medical-Biological Sciences], 2015, no. 1, pp. 5–15.
3. Brumshteyn Yu. M. *Sistemnyy analiz napravleniy, metodov i tekhnicheskikh sredstv izucheniya chuvstvitelnosti konchikov paltsev ruk* [System Analysis of Directions, Methods and Technical Means of Studying Sensitivity of Finger Tips]. *Fizika i radioelektronika v meditsine i ekologii (FREME'2016) : trudy XII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Physics and Radio Electronics in Medicine and Ecology (FREM '2016) : proceedings of the XII International Scientific Conference]. Vladimir, 2016, book 1, pp. 311–315.
4. Brumshteyn Yu. M., Churyumova A.S., Konvalova D.I. *Metody i apparatno-programmnye resheniya dlya issledovaniya kontaktnoy temperaturnoy chuvstvitelnosti konchikov paltsev ruk* [Methods and hardware and software solutions for research of contact temperature sensitivity of finger tips]. *Metody kompyuternoy diagnostiki v biologii i meditsine – 2018 : sbornik statey Vserossiyskoy shkoly-seminara* [Methods of computer diagnostics in biology and medicine – 2018 : proceedings of the Russian seminar school]. Saratov, Saratovskiy istochnik Publ., 2018, pp. 55–58.
5. Gryadunov A. I., Nevskiy D. I., Serova O. N. *Patent na izobretenie RU 2479249 C2, 20.04.2013. Ustroystvo dlya opredeleniya plotnosti kholodovykh i teplovykh retseptorov na uchastke kozhnogo pokrova patsienta* [Patent for invention. Device for determining the raft of cold and thermal receptors on the area of the patient's skin cover], no. 2011109059/14 ; declared of 11.03.2011.
6. Ivanov K. P. *Fiziologiya termoregulyatsii: rukovodstvo po fiziologii* [Physiology of Thermoregulation: Guide to Physiology]. Leningrad, Nauka Publ., 1984. 470 p.
7. Divert V. E. *Vliyanie skorosti narastaniya temperatury stimula na porogi lokalnykh kozhnykh termooshchushcheniy* [Effect of stimulus temperature increase rate on thresholds of local skin thermal sensations]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2002, vol. 28, no. 5, pp. 74–80.
8. Divert V. E. *Vliyanie mestnykh barometricheskikh vozdeystviy na porogi kozhnykh termooshchushcheniy* [Impact of local barometric effects on the thresholds of natural thermal sensing]. *Sensornye sistemy* [Sensor Systems], 2004, vol. 18, no. 1, pp. 56–64.

9. Divert V. E. Temperaturная чувствительность кожи при гипоксии [Temperature sensitivity of skin in case of hypoxia]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal imeni I.M. Sechenova* [Russian Physiological Journal named by I.M. Sechenov], 2004, vol. 90, no. 8, pp. 40.
10. Kazakov V. N., Andreeva V. F. Tsentralnye mekhanizmy termoregulyatsii [Central mechanisms of thermoregulation]. *Arkhiy klinicheskoy i eksperimentalnoy meditsiny* [Archive of clinical and experimental medicine], 2018, vol. 27, no. 2, pp. 5–24.
11. Kozyreva T. V., Verkhoglyad L. A. Funktsionalnoe znachenie dinamicheskoy aktivnosti kholodovykh retseptorov kozhi [Functional value of the dynamic intensity of cold skin receptors]. *Fiziologicheskii zhurnal SSSR imeni I.M. Sechenova* [Russian Physiological Journal named by I.M. Sechenov], 1989, vol. 75, no. 1, pp. 117–123.
12. Medvedev A. A., Sokolova L. V. Osobennosti i mekhanizmy temperaturnoy chuvstvitelnosti (obzor) [Features and mechanisms of temperature sensitivity (review)]. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy* [Journal of Biomedical Research], 2019, vol. 7, no. 1, pp. 92–105.
13. Nezhivaya Yu. N., Travova Ye. S., Vodopyanov A. Ye. Sistemnyy analiz problematiki upravleniya protsessami reabilitatsii kistey i paltsev ruk [System analysis of the problem of control of processes of rehabilitation of hands and fingers]. *Prikspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2013, no. 3, pp. 85–99.
14. Temperaturная чувствительность. Тепловые рецепторы. Холодовые рецепторы. Температурное восприятие [Temperature sensitivity. Thermal receptors. Cold receptors. Temperature perception]. Available at: <https://meduniver.com/Medical/Physiology/289.html> (accessed 04.05.2020).
15. Ulashchik V. S. Retseptory kozhi i lechebnye fizicheskie faktory [Skin receptors and therapeutic physical factors]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoy fizkultury* [Questions of balneology, physiotherapy and physical cultures], 2017, vol. 94, no. 5, pp. 48–57.
16. Hensel H., Schafer K. Thermoreception and Temperature Regulation in Man. *Recent Advances in Medical Thermology*. Boston, 1984, pp. 51–64.

**МЕТОД СИНТЕЗА МОСТОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ И ДАТЧИКОВ
ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ
АНТЕННЫМИ СОГЛАСУЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ**

Статья поступила в редакцию 19.08.2020, в окончательном варианте – 02.09.2020.

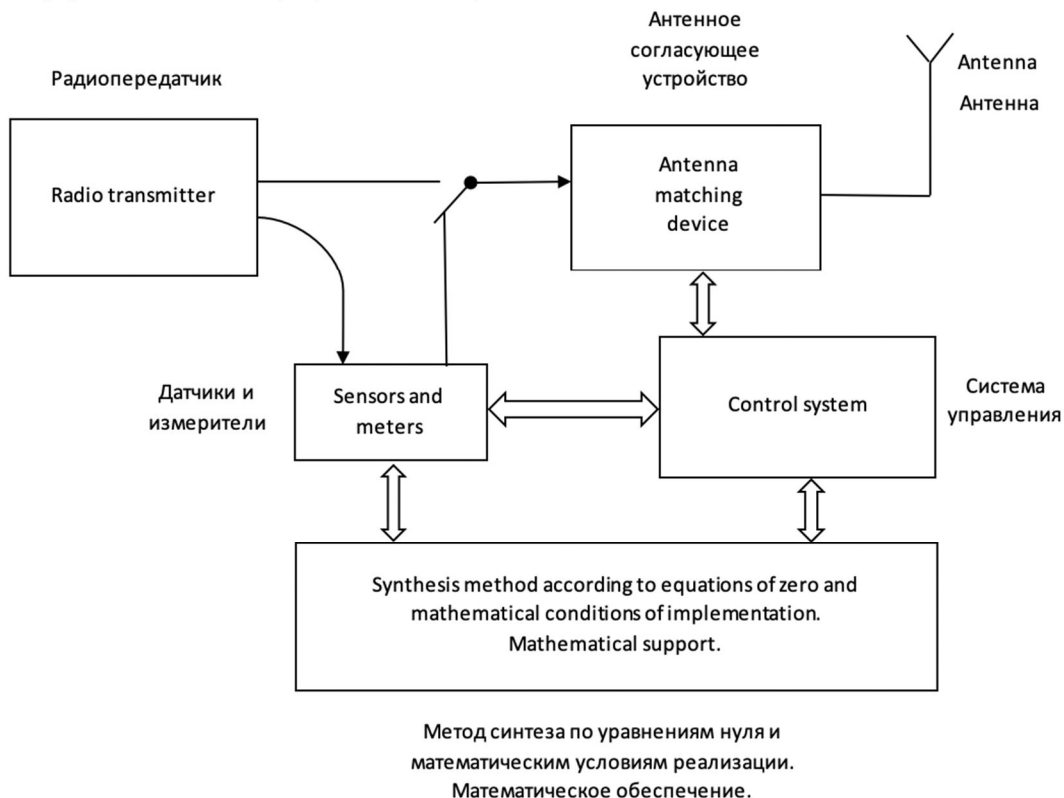
Жуков Валентин Михайлович, Тамбовский государственный технический университет, 392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Советская, 106, кандидат технических наук, e-mail: zhukov.val3ntin@yandex.ru

Муромцев Дмитрий Юрьевич, Тамбовский государственный технический университет, 392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Советская, 106, доктор технических наук, e-mail: mdjur@mail.ru

Разработан метод синтеза мостовых датчиков и измерителей переменного тока, использующихся в информационно-измерительных и управляющих системах антенными согласующими устройствами радиостанций различных диапазонов. Метод заключается в определении уравнений нуля и математических условий реализации датчика или измерителя, по которым разрабатывается электрическая схема прибора и основан на анализе векторных диаграмм напряжений и токов четырех плечевого резистивного моста переменного тока. Синтезированные по данному методу схемы таких устройств конструктивно легче реализуемы в более широком диапазоне частот, в них легче производить обработку информации на промежуточной частоте, в результате чего они более помехоустойчивы и имеют меньшую погрешность. Приводится универсальная схема, в которой на основе резистивного моста реализуются избирательные измерители и датчики, теория которых рассмотрена в статье.

Ключевые слова: активное сопротивление, векторная диаграмма, годограф, комплексный коэффициент отражения, модуль, проводимость, реактивное сопротивление, уравнение нуля, условие реализации, фаза

Графическая аннотация (Graphical annotation)



METHOD OF SYNTHESIS OF BRIDGE METERS AND SENSORS FOR INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS WITH ANTENNA MATCHING DEVICES

The article was received by the editorial board on 19.08.2020, in the final version – 02.09.2020.

Zhukov Valentin M., Tambov State Technical University, 106 Sovetskaya St., Tambov, 392000, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), e-mail: zhukov.val3ntin@yandex.ru

Muromtsev Dmitry Yu., Tambov State Technical University, 106 Sovetskaya St., Tambov, 392000, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: mdjur@mail.ru

A method has been developed for the synthesis of bridge sensors and alternating current meters used in information-measuring and control systems with antenna matching devices of radio stations of various ranges. The method consists in determining the equations of zero and the mathematical conditions for the implementation of the sensor or meter, according to which the electrical circuit of the device is developed and is based on the analysis of vector diagrams of voltages and currents of a four-arm resistive AC bridge. The circuits of such devices synthesized by this method are structurally easier to implement in a wider frequency range, it is easier to process information in them at an intermediate frequency, as a result of which, they are more noise-resistant and have a smaller error. A universal circuit is presented, in which selective meters and sensors are implemented on the basis of a resistive bridge, the theory of which is considered in the article.

Key words: active resistance, vector diagram, hodograph, complex reflection coefficient, modulus, conductivity, reactance, zero equation, implementation condition, phase.

Введение. В информационно-измерительных и управляющих системах (ИИУС) антенными согласующими устройствами (АСУ) применяются датчики и измерители, определяющие знаки и величины:

- модуля комплексного сопротивления (ДМ);
- реактивной составляющей комплексного сопротивления (ДФ);
- активной составляющей комплексной проводимости (ДГ);
- активной составляющей комплексного сопротивления (ДР);
- модуля комплексного коэффициента отражения (Ир);
- фазы комплексного коэффициента отражения (ИФ).

Места включения в АСУ датчиков и измерителей, их тип выбираются, руководствуясь соображениями обеспечения автономности различных контуров автоматической настройки в много-связной системе управления.

В схемах датчиков и измерителей чаще всего используются высокочастотные широкополосные трансформаторы. Погрешность нулей измерителей и датчиков в диапазоне частот в основном зависит от равномерности амплитудно-частотных и линейности фазовых характеристик этих трансформаторов [1]. Практическая реализация равномерных амплитудно-частотных и линейных фазовых характеристик трансформаторов в широком диапазоне частот (например, от 1 до 300 МГц) является трудной технической задачей. Для измерения модуля и фазы комплексного коэффициента отражения обычно применяют направленные ответвители [2], которые в диапазоне коротких волн имеют существенные габариты.

На погрешность обычно применяемых в ИИСУ АСУ измерителей и датчиков, не имеющих избирательных частотных свойств, оказывают сильное влияние наведенные в антенне сигналы от рядом работающих радиостанций [3], поэтому используются они при высоких уровнях излучения несущей частоты сигнала, что позволяет обнаружить радиостанцию еще во время подготовки ее к работе.

Устранить отмеченные недостатки обычно применяемых измерителей и датчиков позволяют устройства, основанные на применении моста переменного тока с четырьмя резистивными плечами. Схемы таких устройств конструктивно легче реализуемы в более широком диапазоне частот, в них легче производить обработку информации на промежуточной частоте, вследствие чего они более помехоустойчивы и имеют меньшую погрешность.

Разработаем метод синтеза мостовых датчиков и измерителей переменного тока, определяя для каждого типа датчика или измерителя уравнение нуля и условие его реализации на основе анализа их векторных диаграмм [4]. Схема моста переменного тока приведена на рисунке 1, где показаны также токи и напряжения в опорных и измерительных плечах.

Полагаем, что величины активных сопротивлений в плечах моста нормированы по отношению к оптимальному входному сопротивлению СУ.

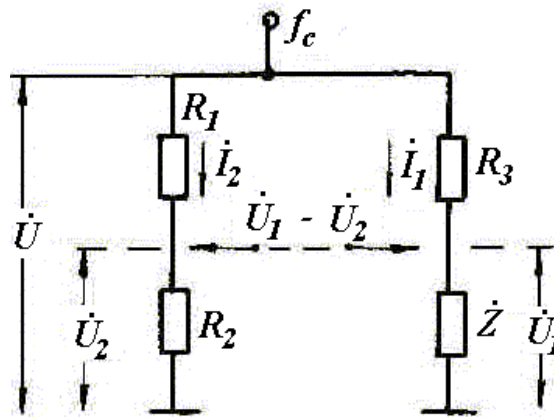


Рисунок 1 – Схема моста переменного тока

Датчик знака отклонения активной составляющей комплексной проводимости от номинальной величины.

Для упрощения будем называть его датчиком активной проводимости.

Значение тока $\dot{I}_1$ на входе АСУ (в измерительном плече моста):

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{\dot{Z}}. \quad (1)$$

Значение тока $\dot{I}_2$ в опорном плече моста:

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_2}{R_2} \quad (2)$$

Определим значения $\dot{U}_1$ и $\dot{U}_2$ с учетом (1) и (2):

$$\dot{U}_1 = \frac{\dot{U} \cdot \dot{Z}}{R_3 + \dot{Z}} = \frac{\dot{U}(r + jx)}{R_3 + r + jx}, \quad (3)$$

$$\dot{U}_2 = \frac{\dot{U} \cdot R_3}{R_1 + R_3}. \quad (4)$$

Отметим, что для справедливости формул (3) и (4) необходимо выполнение условий $\dot{Z}_C \gg R_1, \dot{Z}_C \gg R_2, \dot{Z}_C \gg R_3, \dot{Z}_C \gg \dot{Z}$. В данном выражении $\dot{Z}_C$ – сопротивление в диагонали моста. Эти условия необходимо обеспечивать за счет схемных решений.

При делении (4) на (3) после преобразований получим:

$$\frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left(\frac{R_3 \cdot r}{r^2 + x^2} + 1 + j \cdot \frac{R_3 \cdot x}{r^2 + x^2} \right) \quad (5)$$

и

$$\frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (R_3 g + j R_3 b). \quad (6)$$

В выражениях (5) и (6) значения $g = \frac{r}{r^2 + x^2}$ и $b = \frac{x}{r^2 + x^2}$.

Определим действительную и мнимую части выражения (6):

$$\operatorname{Re} \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{|\dot{U}_2|}{|\dot{U}_1|} \cos \varphi = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2} g + \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad (7)$$

$$\operatorname{Im} \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = j \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} \sin \varphi = j \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2} \cdot b. \quad (8)$$

В данных формулах φ обозначает фазовый сдвиг между напряжениями $\dot{U}_1$ и $\dot{U}_2$.

Независимость действительной части отношения $\dot{U}_1$ и $\dot{U}_2$ от реактивной проводимости в измерительном плече моста очевидна из анализа выражения (7). На рисунке 2 показана векторная диаграмма напряжений моста. Если величину $\dot{U}_2$ выбрать таким, чтобы выполнялось равенство:

$$|\dot{U}_1 - \dot{U}_2| = |\dot{U}_2|, \quad (9)$$

то, как следует из диаграммы, годографом вектора $\dot{U}_1$ будет окружность в процессе изменения нагрузки Z в измерительном плече моста.

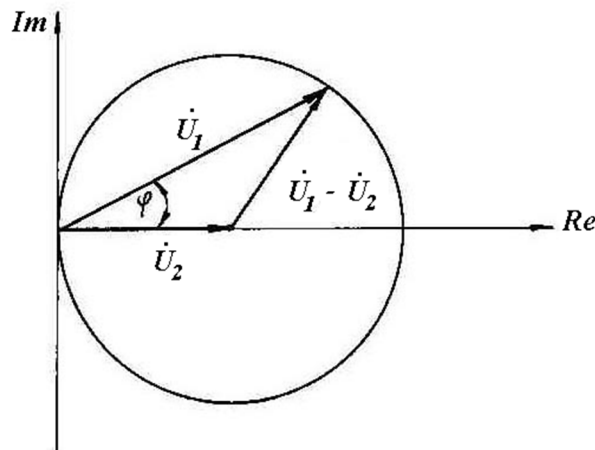


Рисунок 2 – Векторная диаграмма напряжений моста

Из анализа векторной диаграммы вытекает равенство:

$$\frac{|\dot{U}_2|}{|\dot{U}_1|} \cos \varphi = \frac{1}{2}. \quad (10)$$

Тогда условие реализации ДГ, т.е. вариант схемы резистивного моста, при котором можно использовать его в качестве датчика активной составляющей комплексной проводимости получим из (7) и (10):

$$\frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2} \cdot g + \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{2}. \quad (11)$$

При $g = 1$ равенства (9) и (11) справедливы при $R_1 = 1,5, R_2 = 0,5, R_3 = 1$. Уравнением нуля ДГ будет являться равенство (9), причем: если $g > 1$, то

$$|\dot{U}_1 - \dot{U}_2| < |\dot{U}_2|, \quad (12)$$

а если $g < 1$, то

$$|\dot{U}_1 - \dot{U}_2| > |\dot{U}_2|. \quad (13)$$

Датчик знака отклонения активной составляющей комплексного сопротивления от номинальной величины. Для упрощения будем называть его датчиком активной составляющей комплексного сопротивления.

Воспользуемся последовательной цепью из R и Z , показанной на рисунке 3, для построения датчика активной составляющей комплексного сопротивления.

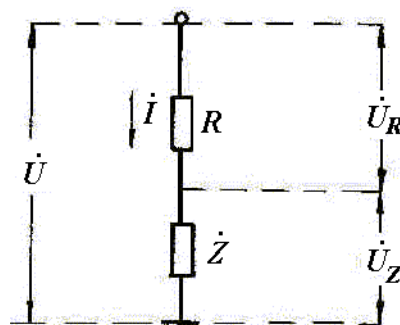


Рисунок 3 – Последовательная цепь из R и Z

Для этой цепи справедливы соотношения:

$$\frac{\dot{U}_Z}{\dot{U}_R} = \frac{\dot{Z}}{R} = \frac{r + jx}{R}; \quad (14)$$

$$\operatorname{Re} \frac{\dot{U}_Z}{\dot{U}_R} = \frac{|\dot{U}_Z|}{|\dot{U}_R|} \cos \varphi = \frac{r}{R}; \quad (15)$$

$$\operatorname{Im} \frac{\dot{U}_Z}{\dot{U}_R} = j \frac{|\dot{U}_Z|}{|\dot{U}_R|} \sin \varphi = \frac{x}{R}. \quad (16)$$

На рисунке 4 показана векторная диаграмма напряжений и тока для последовательной цепи. Как видно из векторной диаграммы, при выбранной величине R таким образом, что:

$$\frac{|\dot{U}_Z|}{|\dot{U}_R|} \cos \varphi = \frac{1}{2}, \quad (17)$$

выполняется равенство:

$$|\dot{U}_R - \dot{U}_Z| = |\dot{U}_Z|. \quad (18)$$

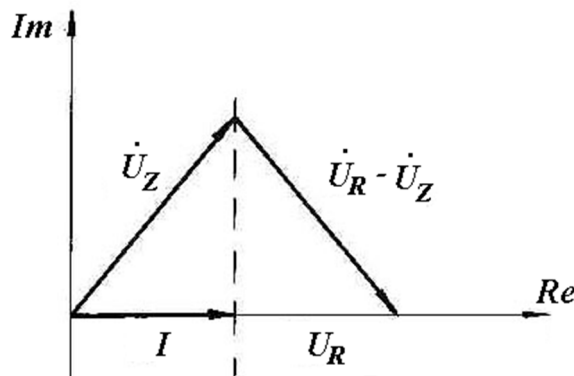


Рисунок 4 – Векторная диаграмма напряжений в последовательной цепи

Условие реализации датчика активной составляющей комплексного сопротивления получается из анализа выражений (15) и (17):

$$\frac{r}{R} = \frac{1}{2}. \quad (19)$$

А уравнение нуля датчика активной составляющей комплексного сопротивления получим, подставив в (18) значение $\dot{U}_R = \dot{U} - \dot{U}_Z$:

$$|\dot{U}_Z| = |\dot{U} - 2\dot{U}_Z|. \quad (20)$$

Датчик знака отклонения модуля комплексного сопротивления от номинальной величины. Для упрощения будем называть его датчиком модуля комплексного сопротивления.

Условие реализации датчика модуля комплексного сопротивления получается из соотношения (14) при равенстве его 1.

$$\frac{|\dot{U}_Z|}{|\dot{U}_R|} = \frac{|\dot{Z}|}{R} = \frac{\sqrt{r^2 + x^2}}{R} = 1 \quad (21)$$

Векторная диаграмма напряжений в датчике модуля комплексного сопротивления приведена на рисунке 5.

Из диаграммы рисунка 5 очевидным является уравнение нуля датчика модуля комплексного сопротивления в виде:

$$|\dot{U}_Z| = |\dot{U}_R| \quad (22)$$

или

$$|\dot{U}_Z| = |\dot{U} - \dot{U}_Z|. \quad (23)$$

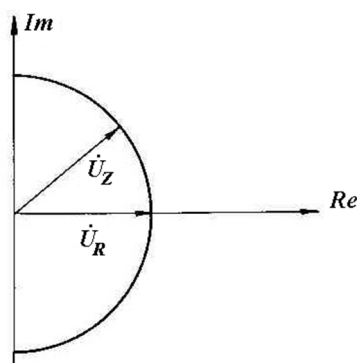


Рисунок 5 – Векторная диаграмма напряжений в датчике модуля комплексного сопротивления

Измерители величин модуля и фазы комплексного коэффициента отражения. Путем несложных преобразований из уравнений (3) и (4) получается равенство:

$$\frac{R_3}{Z} \cdot \dot{U}_1 = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot \dot{U}_2 - \dot{U}_1, \quad (24)$$

из которого при $R_1 = R_2 = R_3 = 1$ (условие реализации измерителя) можно получить выражение:

$$\dot{Z} = \frac{\dot{U}_1}{2\dot{U}_2 - \dot{U}_1}. \quad (25)$$

Известна формула [1], которая выражает комплексный коэффициент отражения через комплексное сопротивление

$$\dot{p} = \frac{\dot{Z} - 1}{\dot{Z} + 1}. \quad (26)$$

Значение $\dot{Z}$ из (25) подставляем в (26) и получаем:

$$\dot{p} = \frac{\dot{U}_1 - \dot{U}_2}{\dot{U}_2}. \quad (27)$$

Мы выразили комплексный коэффициент отражения через величины напряжений на элементах моста, приведенного на рисунке 1.

Следовательно, из соотношения модулей диагонального и опорного напряжений получим модуль коэффициента отражения:

$$p = \frac{|\dot{U}_1 - \dot{U}_2|}{|\dot{U}_2|}, \quad (28)$$

а фазовая разность напряжений в диагонали и в опорном плече моста равна фазе коэффициента отражения:

$$\arg \dot{p} = \arg(\dot{U}_1 - \dot{U}_2) - \arg \dot{U}_2. \quad (29)$$

На рисунке 6 показана универсальная схема, в которой на основе резистивного моста реализуются избирательные измерители и датчики, теория которых рассмотрена в данном разделе.

К схеме необходимо сделать некоторые пояснения.

1. В плечах моста использованы резисторы с нормированной величиной сопротивлений $R_1 = R_2 = R_3 = 1$, а соответствующее масштабирование информационных сигналов производится на промежуточной частоте.

2. Известные и хорошо отработанные схемные решения приведены упрощенно (например, схема фазового дискриминатора коммутационного типа на дифференциальном каскаде [5]) или показаны функциональными прямоугольниками (ЦИФ, ЦИОН, УПЧ и пр.).

3. Делители из резисторов R_4, R_5, R_6, R_7 служат для исключения возможности влияния на смесители сигналов мощной помехи.

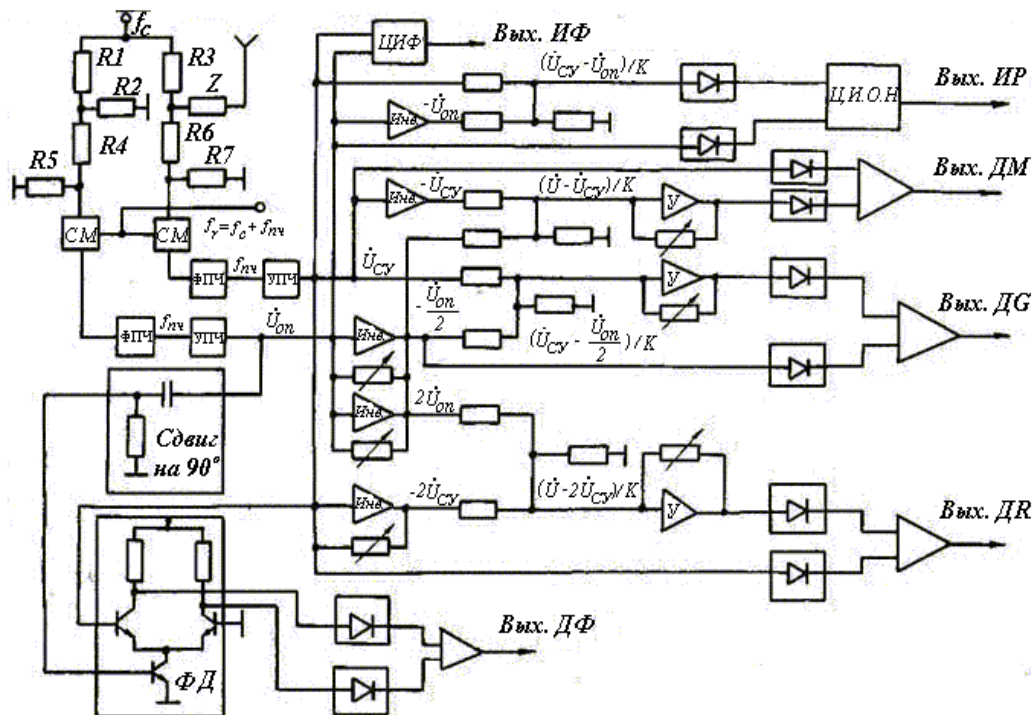


Рисунок 6 – Универсальная схема избирательных датчиков и измерителей

Приняты следующие сокращения и обозначения: Инв. – инвертор; СМ – смеситель; У – усилитель; УПЧ – усилитель промежуточной частоты; ФПЧ – фильтр промежуточной частоты; ЦИОН – цифровой измеритель отношений напряжений; ЦИФ – цифровой измеритель фазы; ФД – фазовый дискриминатор.

Следует отметить, что работоспособность этих датчиков и измерителей сохраняется при очень низких уровнях сигнала.

Библиографический список

1. Лондон С. Е. Широкополосные радиопередающие устройства / С. Е. Лондон. – Ленинград : Энергия, 1970. – 148 с.
2. Фельдштейн А. Л. Синтез четырёхполюсников и восьмиполюсников на СВЧ / А. Л. Фельдштейн, Л. Р. Явич. – Москва : Связь, 1971. – 388 с.
3. Белоусов Е. Л. Особенности настройки антенного согласующего устройства при действиях станционной помехи / Е. Л. Белоусов // Техника средств связи. Серия ТРС. – 1976. – № 3. – С. 27–32.
4. Рассел Джесси. Векторная диаграмма / Джесси Рассел. – Москва : VSD, 2012. – 736 с.
5. Жуков В. М. Устройства автоматики в системах радиосвязи : учебно-методическое пособие / В. М. Жуков, А. А. Шилов. – Тамбов : ТГТУ, 2012. – 95 с.

References

1. London S. Ye. *Shirokopolosnyye radiopereadayushchiye ustroystva* [Broadband radio transmitting devices]. – Leningrad, Energiya Publ., 1970. 148 p.
2. Feldshteyn A. L., Yavich L. R. *Sintez chetyryekhpolyusnikov i vosmipolyusnikov na SVCH* [Synthesis of four-terminal and eight-terminal networks at microwave frequency]. Moscow, Svyaz Publ., 1971. 388 p.
3. Belousov Ye. L. *Osobennosti nastroyki antennogo soglasuyushchego ustroystva pri deystviyakh stantsionnoy pomekhi* [Peculiarities of tuning the antenna matching device under the action of station interference]. *Tekhnika sredstv svyazi, seriya TRS* [Communication Equipment], 1976, no. 3, pp. 27–32.
4. Rassel Dzhessi. *Vektornaya diagramma* [Vector diagram]. Moscow, VSD Publ., 2012. 736 p.
5. Zhukov V. M., Shilov A. A. *Ustroystva avtomatiki v sistemakh radiosvyazi* [Automation devices in radio communication systems]. Tambov, Tambov State Technical University, 2012. 95 p.

УДК:004.896:007.52

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯТОРОВ С СИСТЕМОЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ СБОРА ТОМАТОВ

Статья поступила в редакцию 10.06.2020, в окончательном варианте – 15.09.2020.

Рыбаков Алексей Владимирович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
кандидат физико-математических наук, директор физико-математического института, e-mail: rybakov_alex@mail.ru <http://orcid.org/0000-0003-1192-0913>

Лихтер Анатолий Михайлович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физики, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9193-7998>, e-mail: likhter@bk.ru

Погожева Алёна Багдасаровна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
ассистент, e-mail: goddess1806@mail.ru

Михайлова Анастасия Васильевна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
студентка, e-mail: 051098anastasiya@gmail.com

Дусалиев Амит Бекторганович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
студент, e-mail: amit19@mail.com

Системы компьютерного зрения в последнее время находят применение в различных областях человеческой деятельности. Не является исключением и сельское хозяйство. В частности, уже достаточно долгое время разрабатываются различные методы автоматизированного сбора урожая. Однако данные методы в основном используют какие-либо маркеры или специально рассчитанную точную высадку рассады. Предлагаемый подход позволяет более гибко осуществлять сбор урожая, определяя положение плодов на основе использования системы компьютерного зрения. Приведено описание эксперимента по реализации описанного подхода с применением учебного робототехнического комплекса KUKA. Нами были проанализированы данные СТЗ, содержащие координаты центра кубика; затем рассчитаны значения погрешности в определении ординаты ус. Экспериментальные результаты и функция зависимости относительной ошибки от высоты схвата над объектом подтверждают теоретически рассчитанные значения. На основании полученных результатов был разработан программный модуль позиционирования манипулятора, в котором на вход подаются значения координат центра плода с учетом ошибки и координаты схвата робота; решаются прямая и обратная задача кинематики манипулятора – с целью подведения схвата к плоду. Полученные результаты говорят о хороших перспективах внедрения описанной технологии для выполнения операций сбора урожая.

Ключевые слова: роботизированный манипулятор, компьютерное зрение, агромехатроника, распознавание изображений, сельскохозяйственные роботы, автоматизированный сбор урожая, KUKA KR3, управление роботами, OpenCV

DESIGN OF ROBOTIC MANIPULATORS WITH COMPUTER VISION SYSTEM FOR VEGETABLES HARVESTING

The article was received by the editorial board on 10.06.2020, in the final version – 15.09.2020.

Rybakov Alexey V., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Director of the Physical and Mathematical Institute, e-mail: rybakov_alex@mail.ru

Likhter Anatoliy M., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of General Physics, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9193-7998>, e-mail: likhter@bk.ru

Pogozheva Alena B., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

assistant, e-mail: goddess1806@mail.ru

Mikhailova Anastasiya V., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

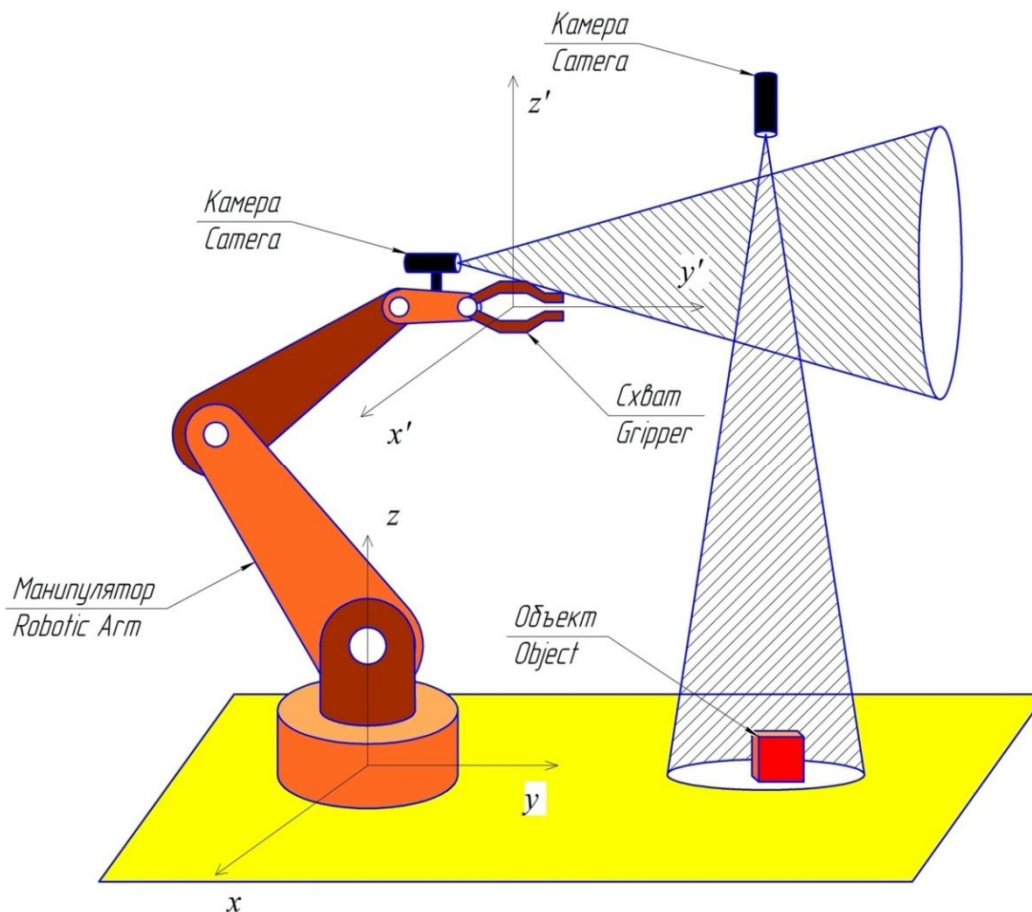
student, e-mail: 051098anastasiya@gmail.com

Dusaliev Amit B., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, student, e-mail: amit19@mail.com

Computer vision systems have recently been used in various fields of human activity. Agriculture is no exception. In particular, various methods of automated harvesting have been developed for a long time. However, these methods mostly use some markers or specially calculated precise seedling planting. The proposed approach allows for more flexible harvesting by determining the position of the fruit based on the use of a computer vision system. The article describes an experiment on the implementation of the described approach using the KUKA educational robotic complex. We analyzed computer vision data containing the coordinates of the center of the cube; then we calculated the error values in determining the y_c ordinate. The experimental results and the function of the relative error dependence on the height of the grip above the object confirm the theoretically calculated values. Based on the results obtained, a program module for positioning the manipulator was developed, in which the values of the coordinates of the center of the fetus are fed to the input, taking into account the error and the coordinates of the robot's grip; the direct and inverse problem of the manipulator's kinematics is solved in order to bring the grip to the fetus. The obtained results indicate good prospects for implementing the described technology for performing harvesting operations.

Keywords: robotic manipulator, computer vision, agromechatronics, image recognition, agricultural robots, automated harvesting, KUKA KR3, robot control, OpenCV

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Системы компьютерного зрения в последнее время находят применение в различных областях человеческой деятельности. Не является исключением и сельское хозяйство. В частности, уже достаточно долгое время разрабатываются различные методы автоматизированного сбора урожая. Внедрение сельскохозяйственных роботов, оснащенных системами компьютерного зрения, которые нередко также называются «системами технического зрения» (СТЗ), может существенно повысить продуктивность и рентабельность отрасли, уменьшить себестоимость производства продукции.

Применение роботов в растениеводстве позволяет освободить человека от выполнения ряда монотонных производственных операций; сократить потери рабочего времени, связанные с ошибками персонала, а в случае использования робототехнических систем в теплицах – снизить вероятность их загрязнения грибами и микроорганизмами [7].

В работе [19] исследован потенциал использования «роботизированной руки» в садоводческих операциях, особенно при уборке урожая. Авторами дана количественная оценка потенциальных затрат, оценена экономия трудозатрат и определена продолжительность сезона сбора урожая как ключевая переменная прибыльности. Авторы пришли к выводу, что роботизированный комбайн может быть экономически целесообразным для сельскохозяйственных культур с длительным сезоном сбора урожая, таких как помидоры с контролируемой средой выращивания.

Арендт и др. [9] и Клари и др. [12] рассмотрели задачу определения процентной доли стручков спаржи, которая должна быть собрана с помощью средств автоматизации, чтобы обеспечить безубыточность при дополнительном ручном сборе урожая.

Арендт и др. [9] показали, что даже при урожае спаржи сорта № 1 на уровне 28 % и сорта № 2 на уровне 15 % комбайн обеспечивал экономические преимущества по сравнению с затратами на ручной сбор урожая. Авторы выявили, что комбайн экономически эффективен, если процент роботизированного сбора урожая составляет 70–80 % от ручного сбора.

Сембали и соавт. [13] сосредоточились на изменении интервала сбора урожая с помощью средств автоматизации. Они обнаружили, что если стоимость ручного сбора урожая увеличивается с 0,51 до 0,60 долл. US\$/кг, то коэффициент безубыточности, который показывает количество сделок, при которых посредник не получит прибыль, но и не будет в убытке, снижается с 70 до 61 %.

Рум [18] обосновал, что автоматизированный сбор спаржи может сыграть важную роль в снижении себестоимости производства, но только при условии значительных капиталовложений. Он отметил, что капитальные затраты на автоматизированные комбайны для обработки 50 га спаржи составляют 100 000 евро. Он также указал, что полностью автоматизированная сортировка спаржи была бы экономически целесообразной, если бы ее производительность составляла 1600 стручков в час и выше.

Чжаном и др. [20] рассматривалась самоходная машина для сбора яблок и их сортировки в полевых условиях. Они подсчитали, что это оборудование экономит среднему Нью-Йоркскому яблоневому саду 149 438 долларов США, но снизит чистую прибыль среднего Калифорнийского сада на 3 381 доллар США. Разница в выгодах зависела от площади сада, уровня производства и процента переработки яблок.

Таким образом, на основании приведенных результатов исследований, становится очевидным, что внедрение роботизированных технологий сбора урожая может быть экономически оправдано. Однако, как и было указано в рассмотренной литературе [12, 13, 20], большую роль в эффективности внедрения роботизированных технологий играет увеличение точности и надежности применяемых методов и технических средств, удешевление аппаратной части.

Таким образом, задача разработки манипуляционных систем с точным позиционированием для сельскохозяйственных роботов имеет важное значение. В данной статье ставилась цель рассчитать и спроектировать модуль позиционирования робототехнического манипулятора с СТЗ для сбора томатов.

Общая характеристика предметной области исследований и выполнения разработок. Одним из способов управления манипуляторами является их позиционирование при помощи компьютерного зрения. Последнее обеспечивает решение сразу нескольких задач, причем распознавание объектов считается одним из самых приоритетных. Например, в работе [14] описан роботизированный манипулятор Mitsubishi Movemaster RV-M1 со встроенной веб-камерой для обработки изображений круглых объектов. Эта система оказалась успешной при равномерном ярком освещении распознаваемых объектов распределенными источниками света. В работе [25] рассматривается мехатронная система с обработкой изображений для сортировки объектов, а в работе [24] обсуждается использование двух ПЗС-камер для решения задач сортировки лимонов. Для оценки цветового пространства лимонов было использовано программное обеспечение, написанное на языке Visual Basic 6.0. Для трех различных сортов лимона система показала успешность, при этом точность определения степени зрелости плодов, находилась в диапазоне от 86,6 до 100 %.

В работе [17] показано, что использование метода анализа в цветовом пространстве RGB также дает возможность получить хорошие результаты. Здесь применялись зеркала для оценки изображений зерен пшеницы с трех сторон, что позволило увеличить количество анализируемых признаков. Приведенные в работе результаты показывают, что увеличение числа обрабатываемых компьютером признаков повышает успешность работы системы практически без увеличения вычислительных затрат. Система показала на 10 % большую точность, чем обычные сортировщики по одному признаку сортируемых объектов.

В работе [15] описана сортировочная система, использующая автоматизированный визуальный контроль для удаления загрязнений из шерсти. Точность определения загрязненной шерсти при различных режимах работы конвейера и размещении исследуемых объектов составила от 75 до 100 %.

В статье [10] изучались различные методы распознавания изображений для сортировки изюма. Система, способная классифицировать плоды на высоких скоростях [10], включала камеру, в которой используется система определения оттенков, насыщенности и интенсивности цвета. Результаты этой работы показывают, что цвета могут быть точно классифицированы только с одним параметром-оттенком, который обеспечивает на 3 порядка более быстрые классификации, чем обычная RGB-система.

В работе [16] представлена основанная на зрении автономная система сортировки объектов с использованием роботизированного манипулятора. Роботизированная рука Scrobot-ER 3 была модифицирована с помощью дополнительной камеры и маркеров, что позволило расширить возможности системы. В ходе этого исследования был использован промышленный робот Scrobot-ER 9Pro, а на держателе камеры, изготовленном на 3D-принтере, была установлена USB-камера. Этот держатель был установлен на захвате робота. Задачи проекта заключались в следующем: определить спецификацию объекта с помощью методов обработки изображений; установить интерфейс между MATLAB и ACL Scrobot; выбрать и разместить объекты на основе размера, цвета и формы. Фотографии объектов были сделаны с помощью инструмента обработки изображений в MATLAB. После обнаружения тестовых предметов, имеющих различную геометрическую форму (цилиндры, параллелепипеды) были определены координаты их центроидов. Контроль положения робота был ключевой задачей в этом исследовании, поскольку он был интегрирован с несколькими программными системами. Обработка изображений осуществлялась в цветовых пространствах RGB и HSV. После этого использовались цветовые маски и выделялись контуры предметов, которые затем накладывались на исходное изображение. Сообщается, что этот подход обеспечивает точность, т.е. отношение числа отсортированных системой объектов к числу объектов, отсортированных человеком-экспертом, равную 96 %.

Разработанные системы были проверены в идеализированных условиях лабораторий, при хороших условиях освещения, причем объекты располагались на одной плоскости – поверхности конвейера. Задача практического применения систем компьютерного зрения в реальных условиях тепличного хозяйства или, что еще более сложно, в условиях открытого грунта, остается актуальной и требует разработки новых алгоритмов и методов. Дополнительный интерес представляет размещение таких систем на мобильных роботах, оснащенных роботизированными манипуляторами.

Общая концепция и особенности описываемой разработки. Конкретной целью нашего исследования является оценка возможности применения методов определения позиции захватываемого объекта с использованием СТЗ и библиотек с открытым кодом; поиск путей повышения точности определения требуемых характеристик объектов, в том числе и их координат.

Концепцию роботизированного сбора урожая с помощью мобильных роботов, оснащенных манипуляторами, можно пояснить с использованием рисунка 1.

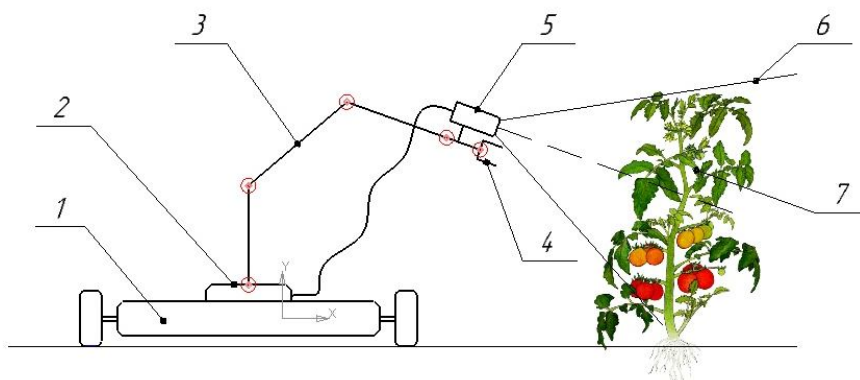


Рисунок 1 – Схематичное изображение мобильного робота для сбора урожая

На рисунке 1 показана мобильная робототехническая платформа «1» с установленным на ней манипулятором «3», оснащенным специализированным схватом «4» и СТЗ «5». Последняя представляет собой видеокamera и ультразвуковой дальномер, подключенные к блоку управления «2». Видеокamera и дальномер обладают определенным углом обзора «6» и предназначены для обеспечения точного сближения схвата с плодом, расположенным на стебле растения «7». В данной работе мы не рассматриваем управление мобильной роботизированной платформой, а сосредоточимся на управлении манипулятором с использованием системы компьютерного зрения. Основными задачами в этом случае являются следующие: точное определение позиций плодов; траекторное управление перемещением схвата манипулятора; осуществление операции отделения плода от стебля. Последняя задача связана с разработкой особой конструкции захватного устройства и в рамках данной статьи не рассматривается.

Эксперименты по применения системы компьютерного зрения для управления манипулятором проводились на базе роботизированной учебной ячейки KUKA, приобретенной в рамках проекта Erasmus + FARmER [11]. Учебная ячейка на базе KUKA KR3 AGILUS (рис. 2) представляет собой манипулятор с 6-ю степенями свободы и контроллером управления. Устройство включает в себя мобильное основание с защитным экраном и дополнительной тренировочной оснасткой в комплекте. Столешница мобильного основания содержит специальную разметку для отработки упражнений.



Рисунок 2 – Внешний вид роботизированной ячейки KUKA

Структурная схема разработанной системы представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Структурная схема комплекса с СТЗ

Закрепление видеокамеры производилось с использованием специально спроектированного и распечатанного на 3D-принтере держателя.

Поскольку внешняя среда, в которой работает манипулятор трехмерная, то сенсорное обеспечение систем управления должно иметь возможность давать именно 3D-информацию об этой среде и об отдельных объектах [2]. Существуют три основных способа получения информации о трехмерной сцене:

1. На основе двумерного образа по взаимному видимому расположению отдельных объектов дается оценка третьей координаты. Такие системы получили название 2,5-мерные (2,5D).
2. Монокулярная СКЗ дополняется каким-либо дальномером, который определяет третью координату – дальность (расстояние) до объекта.
3. Стереоскопическая СКЗ, содержащая две видеокамеры, разнесенные на определенное расстояние (базу) в плоскости, перпендикулярной третьей координате – дальности до объекта.

Способ «1» оценки глубины сцены наиболее прост. Он основан на использовании следующих приемов:

- оценка расстояния до предмета на основе знания его размеров;

- использование при наложении изображений непрозрачных объектов друг на друга того очевидного факта, что предмет, закрывающий другой предмет, находится ближе.
- использование эффекта перспективы, заключающегося в визуальном сближении двух уходящих вдаль параллельных линий;

- анализ световых эффектов теней от объектов, бликов, и т. п.

Способ 2 – это комплексирование, т.е. когда третья координата определяется не СКЗ, а другой системой.

Способ 3 – стереосистемы. Две видеокамеры, разнесенные на определенное расстояние – базу, позволяют сформировать общее трехмерное изображение видимой сцены. Количественная оценка дальности до отдельных объектов может быть определена как высота треугольника, образованного базой и направлениями от каждой камеры на этот объект. Для этого надо знать только угол между этими направлениями.

По результатам анализа этих трех способов нами была выбрана монокулярная СКЗ.

Для анализа изображения с целью определения координат и размеров объектов на нем может использоваться, например, функция m , которая вычисляет моменты изображения с точностью до 3-го порядка векторной или растровой формы. Моменты изображения (англ. image moments) в компьютерном зрении, обработке изображений и смежных областях – это некоторые частные средневзвешенные значения интенсивностей пикселей изображения, или функции таких значений. [4].

В самом общем смысле момент функции – это некая скалярная величина, которая характеризует эту функцию и может быть использована для артикуляции её важных свойств. С математической точки зрения набор моментов является в некотором смысле «проекцией» функции на полиномиальный базис. Он аналогичен преобразованию Фурье, которое представляет из себя проекцию функции на базис из гармонических функций [21].

В случае растрового изображения пространственные моменты вычисляются, как показано в [4] по:

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^n I(x, y) x^p y^q, \quad (1)$$

где p и q – порядок возведения в степень соответствующего параметра при суммировании, n – число пикселей контура; $I(x, y)$ – значение функции интенсивности в точке $\langle x, y \rangle$

Центральные моменты рассчитываются как: [4]

$$m_{Upq} = \sum_{i=1}^n I(x, y) (x - x_c)^p (y - y_c)^q, \quad (2)$$

где x_c и y_c – координаты центра масс,

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \quad (3)$$

$$y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}}, \quad (4)$$

где m_{00} равен длине всех пикселей контура. Вернее было бы сказать – площадь, но так как мы рассматриваем не полигон, а границу, то уместно вести речь о длине; m_{01} и m_{10} равны пространственным моментам при $p = 0$ и $q = 1$; $p = 1$ и $q = 0$ соответственно

Нормализованные центральные моменты m_N рассчитываются как: [4]

$$m_{Npq} = \frac{m_{Upq}}{m_{00}^{\frac{p+q}{2}+1}}. \quad (5)$$

Апробация выполненной разработки. Для обоснования возможности использования системы в реальных условиях была апробирована программа определения границ плодов томатов и координат их центров на изображениях разрешением 800 на 600 пикселей, полученных из реальной (работающей) теплицы. Результаты представлены на рисунке 4.

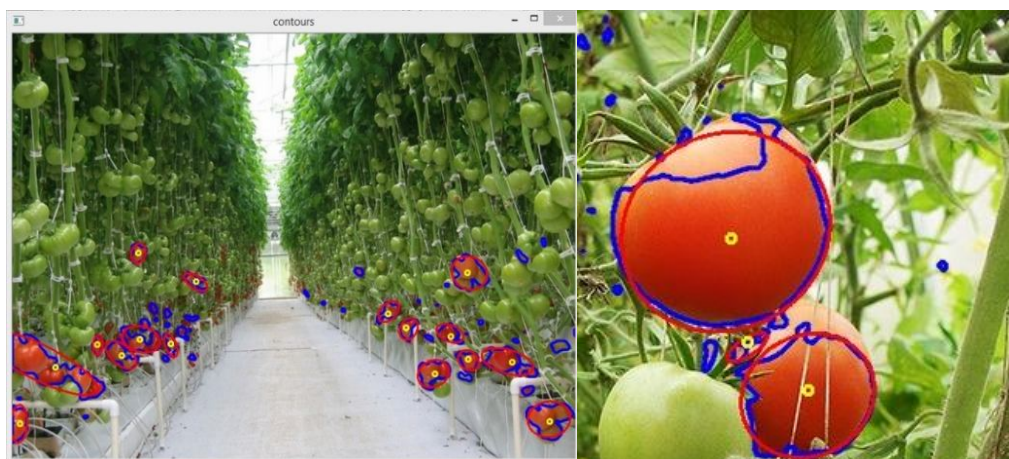


Рисунок 4 – К проверке работы программного обеспечения на фотографиях реальных тепличных комплексов

На рисунке синими кривыми обозначены контуры объектов, выделяемые на основе методики цветных фильтров, описанной в [22, 26]. Желтыми кружками обозначены центры масс изображений объектов. Красный эллипс окружает только плоды подходящего размера, указывая роботу потенциальные объекты для сбора.

Параметры цветного фильтра подбираются на основании освещенности на конкретном объекте и требований агрономов к спелости собираемых плодов. Задача сбора плодов решается подведением схвата манипулятора на расстояние, равное радиусу плода, к плоскости, проходящей через центр томата. Далее в работу включается ультразвуковой датчик расстояния и происходит захват и снятие плода.

Для подведения схвата манипулятора к центру плода необходимо решить обратную позиционную задачу для шестизвенного манипулятора. Такое количество звеньев является стандартным для промышленных манипуляторов KUKA. Данные манипуляторы хорошо зарекомендовали себя для решения производственных задач [28], обладают высокой надежностью; стойки к критическим условиям эксплуатации. При этом шестизвенная конструкция обеспечивает высокую подвижность схвата, необходимую для исключения повреждений плодов во время выполнения операций сбора.

Для оценки погрешности определения координат центра объекта были выполнены описываемые ниже геометрические построения, отражающие ошибку в определении координат центра плода при смещении камеры относительно осевой линии DE (рис. 6).

В этой геометрической интерпретации мы используем следующие параметры: $DB = H$, $BE = h$, $DA = f$, $DD' = L$, $GK = l$, H – высота схвата манипулятора над объектом, L – смещение объекта от нормальной линии камеры, f – фокус камеры, l – размер изображения на матрице камеры, h – высота объекта.

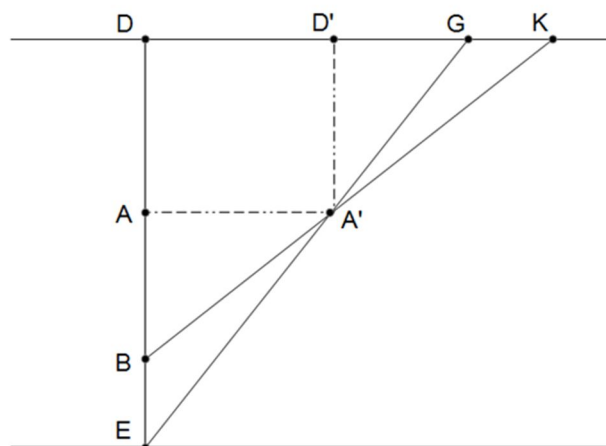


Рисунок 6 – Геометрическая интерпретация вывода формулы для вычисления ошибки позиционирования схвата

Исходными данными для расчетов были следующие: размеры рабочей зоны роботизированной ячейки, положение камеры, фокусное расстояние камеры и размер тестируемого объекта. Внешний вид манипулятора с закрепленной на нем камерой показан на рисунке 7, а вид с камеры – на рисунке 8.

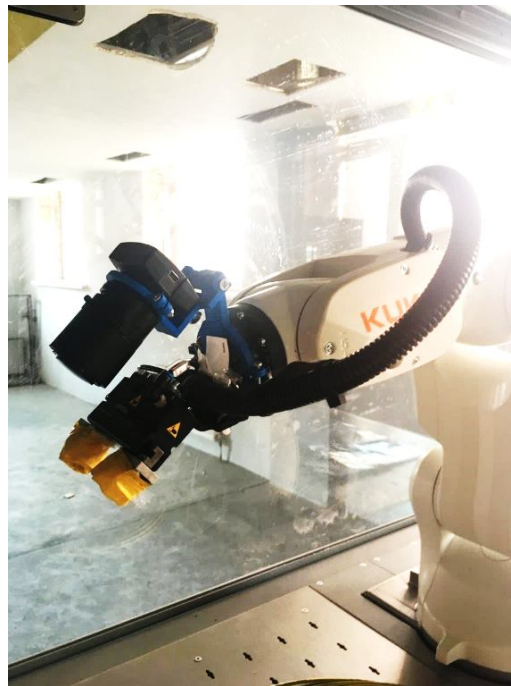


Рисунок 7 – Внешний вид захвата манипулятора с захваченным объектом



Рисунок 8 –Захват объекта с помощью манипулятора (вид с камеры)

Расчеты погрешности определения координат с применением СТЗ проводились с использованием Mathcad15. Зависимость изменения линейного размера боковой поверхности (например, ребра куба) изображения от высоты камеры над объектом может быть описана формулой:

$$l(H) = \frac{f^2}{\sqrt{(H+h-f)^2}} \left[(H-f)^2 + (H+h-f)^2 + 2L^2 - (2\sqrt{(H-f)^2 + L^2} \sqrt{(H+h-f)^2 + L^2} \cos\left(\arctan\left(\frac{H+h-f}{L}\right) - \arctan\left(\frac{H-f}{L}\right)\right) \right] \quad (6)$$

С учетом параметров камеры и геометрического решения задачи (рис. 6) была найдена погрешность $\varepsilon(H)$ определения пространственных координат, а затем построен график ее зависимости от высоты схвата над объектом (рис. 9).

$$\varepsilon(H) = \frac{l(H) \cdot (H-f) \cdot 100\%}{f \cdot h} \quad (7)$$

Следующей задачей является управление манипулятором в зависимости от положения схвата относительно центра плода. Матрица T_N , определяющая положение и ориентацию схвата, имеет вид:

$$T_N = A_1 A_2 \dots A_{N-1} A_N, \quad (8)$$

где $A_i = A_i(q_i)$ – матрицы перехода от i -й к $(i-1)$ -й системе координат манипулятора.

Обратную позиционную задачу, или обратную задачу о положении, формулируют следующим образом. При заданном положении и ориентации схвата с использованием вектора $s = s^*$ или матрицы $T_N = T^*$ найти обобщенные координаты $q^* = (q_1^*, q_2^*, \dots, q_N^*)^T$ [23].

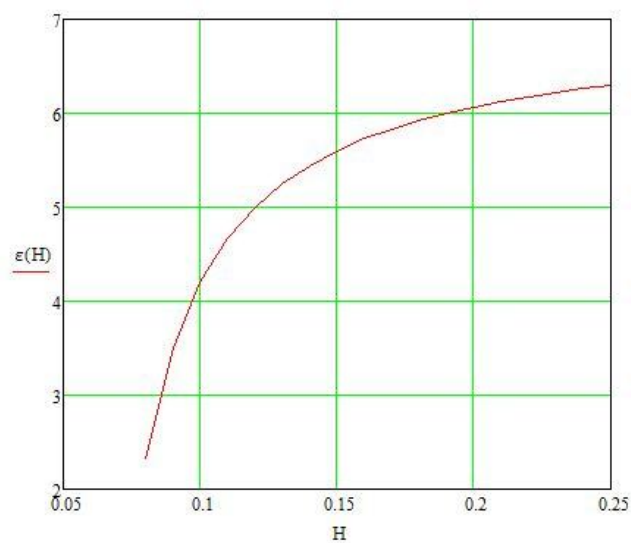


Рисунок 9 – Результаты расчета погрешности определения координат центра плода

Если обозначить

$$s = f_s(q) \quad (9)$$

или

$$T_N = f_T(q), \quad (10)$$

то искомые углы q^* будут задаваться соотношением

$$q^* = f_s^{-1}(s^*) \quad (11)$$

или

$$q^* = f_T^{-1}(T_N^*). \quad (12)$$

Результаты расчетов с использованием Mathcad 15 были проверены на роботизированной ячейке KUKA. На рисунке 10 представлены изображения объекта (оранжевый кубик) и их контуры, выделяемые на основе цветовых признаков.

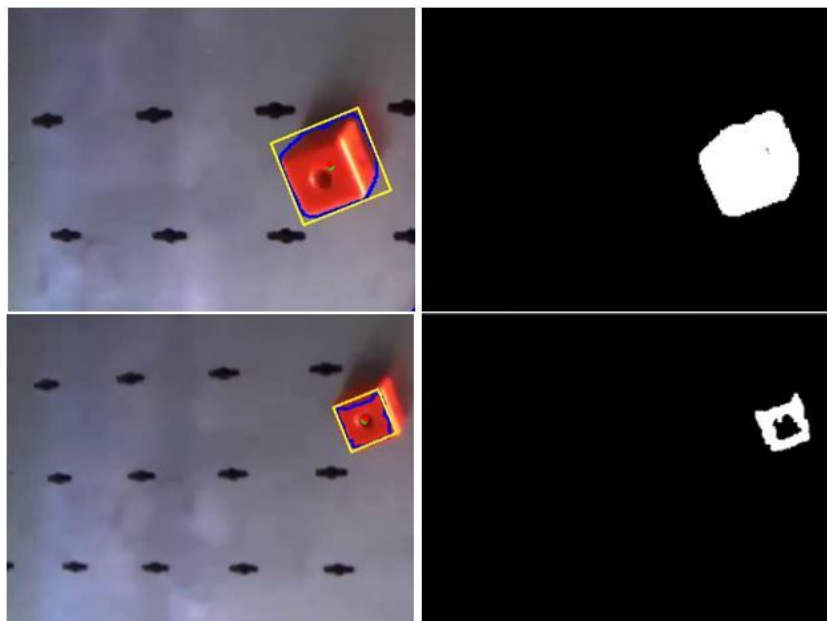


Рисунок 10 – Захват изображения с видеокамеры, размещенной на манипуляторе: а) центр кубика определяется как центр масс изображения; б) центр кубика определяется как точка пересечения диагоналей верхней стороны кубика

Манипулятор с видеокамерой перемещается в пространстве учебной ячейки, смещаясь «сверху вниз» и «слева направо» за промежуток времени около 6 секунд (рис. 11).

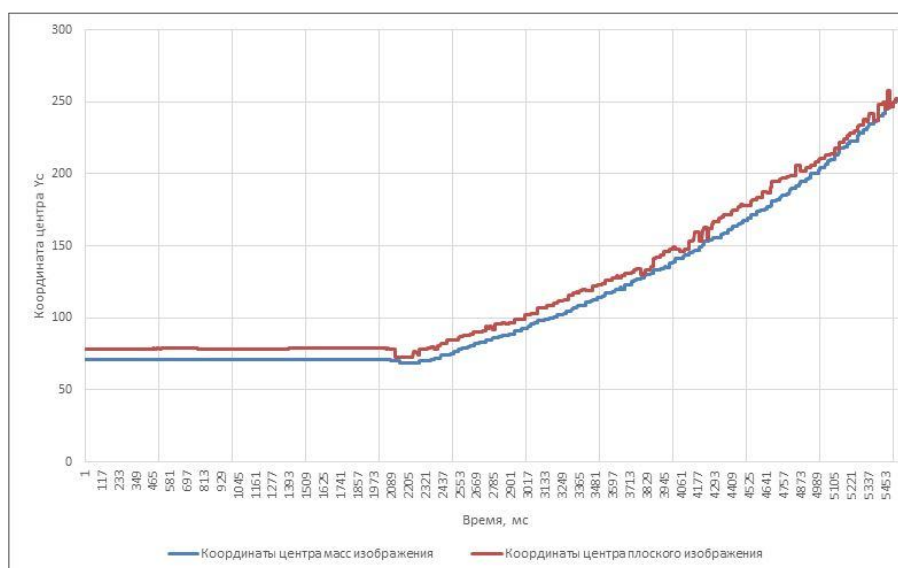


Рисунок 11 – Изменение позиции схвата манипулятора с камерой

Нами были проанализированы данные СТЗ, содержащие координаты центра кубика; затем рассчитаны значения погрешности в определении ординаты y_c (рис. 12). Экспериментальные результаты и функция зависимости относительной ошибки от высоты схвата над объектом подтверждают теоретически рассчитанные значения.

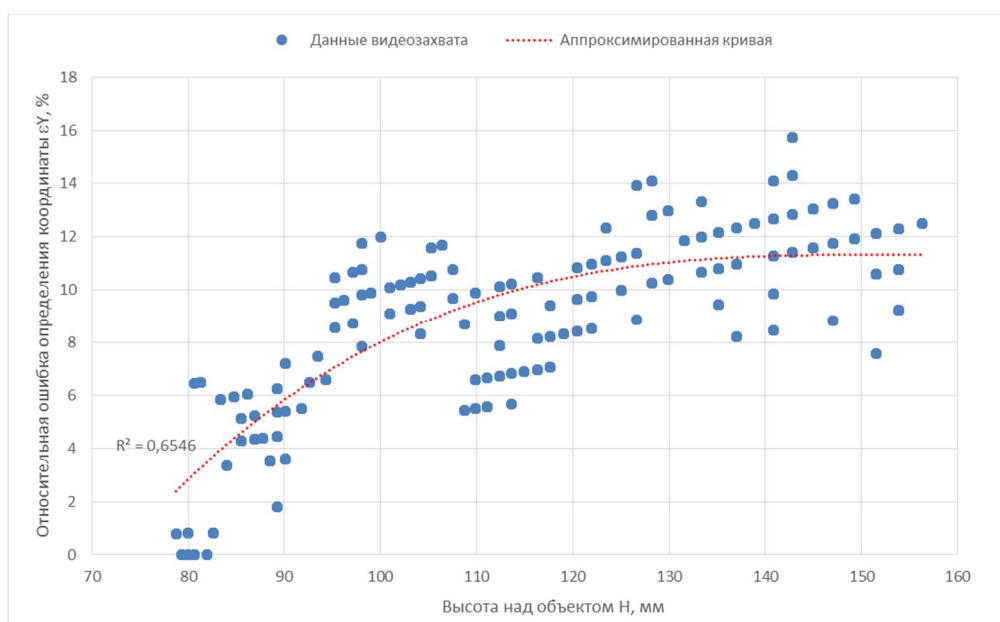


Рисунок 12 – Результаты определения координат с использованием СКЗ

Точность позиционирования манипулятора оценивается его погрешностью позиционирования [1, 3], т.е. отклонением фактического положения выходного звена исполнительного механизма от установившегося значения (рис. 13).

Погрешность позиционирования робота зависит от многих факторов: от точности обработки системой управления [3, 1]; управляемых обобщенных координат исполнительного механизма; точности обработки деталей конструкции; деформации звеньев основного и передаточного механизмов и других факторов.

Практически важной является задача распределения ошибки позиционирования, обычно задаваемой выполняемой технологической операцией, на допустимые ошибки отработки приводами и системой управления. В случае модульных промышленных роботов речь идет о назначении допустимых ошибок позиционирования модулей. Эта задача является достаточно неопределенной, так как заданную точность позиционирования робота можно обеспечить, по-разному устанавливая предельные ошибки модулей.



Рисунок 13 – Общая функциональная схема управления сочленениями звеньев манипулятора

Одно из решений может быть построено на основе принципа равного влияния ошибок модулей на ошибку позиционирования схвата. Пусть величина предельной абсолютной погрешности робота задана. Тогда:

$$\Delta r \leq \sum_{j=1}^n \left| \frac{\partial r}{\partial q_j} \right| * |\Delta q_j|. \quad (13)$$

Все слагаемые суммарной погрешности позиционирования от ошибок модулей должны быть равны.

Тогда

$$\left| \frac{\partial r}{\partial q_1} \right| * |\Delta q_1| = \left| \frac{\partial r}{\partial q_2} \right| * |\Delta q_2| = \left| \frac{\partial r}{\partial q_3} \right| * |\Delta q_3| = \left| \frac{\partial r}{\partial q_n} \right| * |\Delta q_n| = \frac{\Delta r}{n}, \quad (14)$$

где $\Delta q_1, \Delta q_2, \Delta q_3, \Delta q_n$ – ошибки обобщенных координат; r – радиус-вектор произвольной точки захватного устройства.

На основании полученных результатов был разработан программный модуль позиционирования манипулятора. Его блок-схема представлена на рисунке 11. В ней на вход подаются значения координат центра плода с учетом ошибки и координаты схвата робота; решаются прямая и обратная задача кинематики манипулятора с целью подведения схвата к плоду.

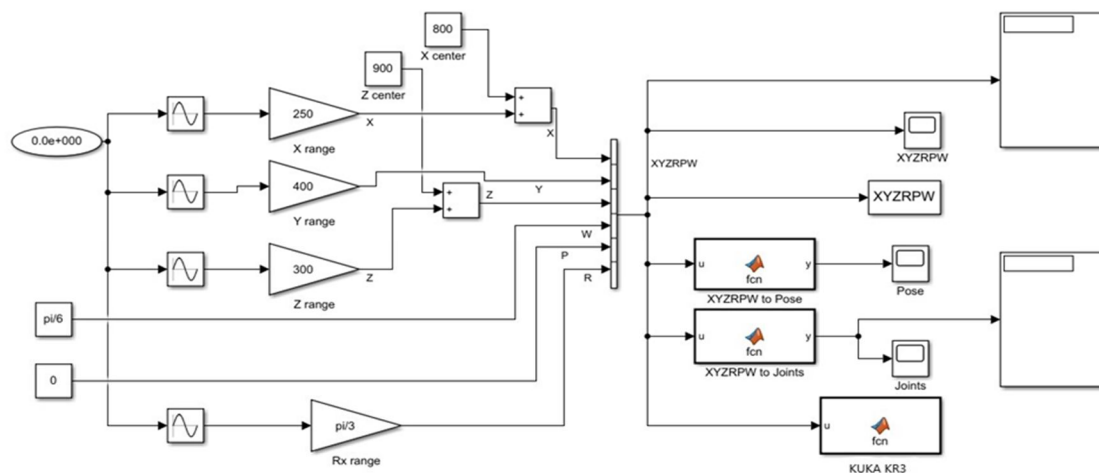


Рисунок 11 – Блок-схема программного модуля позиционирования KUKA KR3

Данная схема может быть применена для точного позиционирования робототехнических манипуляторов, использующих СТЗ.

Выводы:

1. Для сбора томатов можно использовать роботизированные комплексы, оснащенные многозвенными манипуляторами. В этом случае точность определения координат центра объекта, обнаруживаемого СТЗ, зависит от многих факторов, таких как освещенность, параметры камеры и т.д.
2. В данной статье мы предложили подход к определению координат центра плода томата; оценили зависимость погрешности определения координат центра объекта от расстояния между ним и объективом видеокамеры.
3. Эта погрешность возрастает нелинейно в зависимости от расстояния и для параметров нашей системы составляет около 0,3–1,2 %.
4. Для позиционирования робототехнических манипуляторов с использованием СТЗ может быть применен программный модуль, предложенный в данной работе.

Библиографический список

1. Демидович Б.П. Основы вычислительной математики / Б. П. Демидович, И. А. Марон. – Москва : Физматгиз, 1963. – 660 с.
2. Зенкевич С. Л. Основы управления манипуляционными роботами : учебник для вузов / С. Л. Зенкевич, А. С. Ющенко. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 480 с.
3. Козырев Ю. П. Промышленные роботы агрегатно-модульного типа / Ю. П. Козырев, Е. И. Воробьев. – Москва : Машиностроение, 1988. – 240 с.
4. Кеннет Д. А. Practical Introduction to Computer Vision with OpenCV / Д. А. Кеннет. – 2014. – С. 237–241.
5. Козырев Ю. П. Промышленные роботы : справочник / Ю. П. Козырев. – Москва : Машиностроение, 1983. – 376 с.
6. Лурье А. И. Аналитическая механика : справочник / А. И. Лурье. – Москва : Физматгиз, 1961. – 824 с.
7. Рыбаков А. В. Перспективы использования мобильных роботов с системами технического зрения в сельском хозяйстве / А. В. Рыбаков, З. М. Ходарова // Симметрии: теоретический и методический аспекты : сборник научных трудов VII Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 39–46.
8. Хорн Б. К. Зрение роботов : пер. с англ. / Б. К. Хорн. – Москва : Мир, 1989. – 487 с., ил.
9. Arndt G., Rudziejewski R., & Stewart V. A. On the future of automated selective asparagus harvesting technology / G. Arndt, R. Rudziejewski & V. A. Stewart // Computers and Electronics in Agriculture. – 1997. – № 16 (2). – С. 137–145. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(96\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(96)00033-6).
10. Abbasgholipour M. Color image segmentation with genetic algorithm in a raisin sorting system based on machine vision in variable conditions / M. Abbasgholipour, M. Omid, A. Keyhani and S. Mohtasebi // Expert Systems with Applications. – 2011. – Vol. 38, no. 4. – P. 3671–3678.
11. Ali Md. K. Vision-based Robot Manipulator for Industrial Applications / Md. K. Ali, K. Aizat, T. Yerkhan, O. Zhandos // Procedia Computer Science. – № 133. – P. 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.025>.
12. Clary C. Performance and economic analysis of a selective asparagus harvester / C. Clary, T. Ball, E. Ward, S. Fuchs, J. Durfey, R. Cavalieri et al. Applied Engineering in Agriculture. – 2007. – № 23 (5). – P. 571–577. <https://doi.org/10.13031/2013.23665>.
13. Cembali T. Economic comparison of selective and nonselective mechanical harvesting of asparagus / T. Cembali, R. J. Folwell, C. Clary & M. Mari // International Journal of Vegetable Science. – 2008. – № 14 (1). – P. 4–22. <https://doi.org/10.1080/19315260801890476>.
14. Djajadi A. A model vision of sorting system application using robotic manipulator / A. Djajadi, F. Laoda, R. Rusyadi, T. Prajogo and M. Sinaga // Journal.uad.ac.id. – 2017. – Режим доступа: <http://journal.uad.ac.id/index.php/TELKOMNIKA/article/view/615/424>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 21.09. 2017).
15. Flusser J. What are moments? / J. Flusser, T. Suk, B. Zitová // Moments and Moment Invariants in Pattern Recognition. – John Wiley & Sons Ltd, 2009. – P. 6. – ISBN 978-0-470-69987-4.
16. Kay G. A versatile color system capable of fruit sorting and accurate object classification / Kay G. and G. de Jager // Proceedings of the 1992 South African Symposium on Communications and Signal Processing.
17. Pearson T. Color image based sorter for separating red and white wheat / T. Pearson, D. Brabec and S. Haley // Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety. – 2008. – vol. 2, no. 4. – P. 280–288.
18. Ruhm G. Economic evaluation of various harvesting, grading and cultivation methods for asparagus / G. Ruhm // Acta Horticulturae. – 2004. – № 655. – P. 503–507. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.655.61>.
19. Tillett N. D. Robotic manipulators in horticulture: A review / N. D. Tillett // Journal of Agricultural Engineering Research. – 1993. – № 55 (2). – P. 89–105. <https://doi.org/10.1006/jaer.1993.1035>.
20. Zhang L. Development of a Mechatronic Sorting System for Removing Contaminants From Wool / L. Zhang, A. Dehghani, Z. Su, T. King, B. Greenwood and M. Levesley // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. – 2005. – Vol. 10, no. 3. – P. 297–304.
21. Олег Евсегнеев. Класс робототехники. Автоматическое слежение за оранжевым шариком / Олег Евсегнеев. – Режим доступа: <http://robotclass.ru/tag/opencv/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
22. Нахождение контуров и операции с ними. – Режим доступа: <http://robocraft.ru/blog/computervision/640.html>
23. Fostering internationalisation in AgRicultural Engineering in Iran and Russia (FARMER) 585596-EPP-1-2017-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP. – Режим доступа: <http://asu.edu.ru/mejdunarodnaya-deyatelnost/9588-sodeistvie-internacionalizacii-agroinjenernogo-obrazovaniia-v-rossii.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
24. Khojastehnazhand M. Development of a lemon sorting system based on color and size / M. Khojastehnazhand. – Режим доступа: http://www.academicjournals.org/article/article1380110185_Khojastehnazhand%20et%20al.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 21.09. 2017).
25. Object Sorting System Using Robotic Arm, Journaldatabase.info, 2013. – Режим доступа: http://journaldatabase.info/articles/object_sorting_system_using_robotic.html, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 21.09.2017).
26. OpenCV 2.4.13.7 documentation. OpenCV API Reference. Image Processing. – Режим доступа: https://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html?highlight=moments#moments, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
27. System Using Robotic Arm, Journaldatabase.info, 2013. – Режим доступа: http://journaldatabase.info/articles/object_sorting_system_using_robotic.html, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 21.09.2017).
28. KUKA KR QUANTEC выполняет загрузку и разгрузку инструментального станка на собственном заводе. – Режим доступа: <https://www.kuka.com/ru-ru/отрасли/база-данных-решений/2016/06/solution-robotics-kuka>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 21.06.2016).

References

1. Demidovich B. P., Maron I. A. *Osnovy vychislitel'noy matematiki* [Fundamentals of Computational Mathematics]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1963. 660 p.
2. Zenkevich S. L., Yushchenko A. S. *Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robotami* [Fundamentals of manual robot control]. 2nd ed., rev. and add. Moscow, N. E. Bauman Moscow State Technical University, 2004. 480 p.
3. Kozyrev Yu. P., Vorobev E. I. *Promyshlennyye roboty agregatno-modul'nogo tipa* [Industrial robots of modular type]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. 240 p.
4. Kennet D. A. *Practical Introduction to Computer Vision with OpenCV*. 2014, pp. 237–241.
5. Kozyrev Yu. P. *Promyshlennyye roboty : spravochnik* [Industrial robots : directory]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983. 376 p.
6. Lure A. I. *Analiticheskaya mekhanika : spravochnik* [Analytical mechanics : directory]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1961. 824 p.
7. Rybakov A. V., Khodarova Z. M. Perspektivy ispol'zovaniya mobilnykh robotov s sistemami tekhnicheskogo zreniya v sel'skom khozyaystve [Prospects for the use of mobile robots with vision systems in agriculture]. *Simmetrii: teoreticheskiy i metodicheskiy aspekty : sbornik nauchnykh trudov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Symmetries: theoretical and methodological aspects: collection of scientific papers of the VII International Scientific and Practical Conference], 2018, pp. 39–46.
8. Khorn B. K. *Zrenie robotov* [Vision of robots]. Moscow, Mir Publ., 1989. 487 p.
9. Arndt G., Rudziejewski R. & Stewart V. A. On the future of automated selective asparagus harvesting technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1997, no. 16 (2), pp. 137–145. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(96\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(96)00033-6).
10. Abbasgholipour M., Omid M., Keyhani A. and Mohtasebi S. Color image segmentation with genetic algorithm in a raisin sorting system based on machine vision in variable conditions. *Expert Systems with Applications*, 2011, vol. 38, no. 4, pp. 3671–3678.
11. Ali Md. K., Aizat K., Yerkhan T., Zhandos O. Vision-based Robot Manipulator for Industrial Applications. *Procedia Computer Science*, no. 133, pp. 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.025>.
12. Clary C., Ball T., Ward E., Fuchs S., Durfey J., Cavalieri R., et al. Performance and economic analysis of a selective asparagus harvester. *Applied Engineering in Agriculture*, 2007, no. 23 (5), pp. 571–577. <https://doi.org/10.13031/2013.23665>.
13. Cembali, T., Folwell R. J., Clary C. & Mari M. Economic comparison of selective and nonselective mechanical harvesting of asparagus. *International Journal of Vegetable Science*, 2008, no. 14 (1), pp. 4–22. <https://doi.org/10.1080/19315260801890476>.
14. Djajadi A., Laoda F., Rusyadi R., Prajogo T. and Sinaga M. A model vision of sorting system application using robotic manipulator. *Journal.uad.ac.id*, 2017. Available at: <http://journal.uad.ac.id/index.php/TELKOMNIKA/article/view/615/424> (accessed 21.09.2017).
15. Flusser J., Suk T., Zitová B. What are moments? *Moments and Moment Invariants in Pattern Recognition*, John Wiley & Sons Ltd, 2009, p. 6. ISBN 978-0-470-69987-4.
16. Kay G. and Jager G. de. A versatile color system capable of fruit sorting and accurate object classification. *Proceedings of the 1992 South African Symposium on Communications and Signal Processing*.
17. Pearson T., Brabec D. and Haley S. Color image based sorter for separating red and white wheat. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, 2008, vol. 2, no. 4, pp. 280–288.
18. Ruhm G. Economic evaluation of various harvesting, grading and cultivation methods for asparagus. *Acta Horticulturae*, 2004, no. 655, pp. 503–507. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.655.61>.
19. Tillett N. D. Robotic manipulators in horticulture: A review. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1993, no. 55 (2), pp. 89–105. <https://doi.org/10.1006/jaer.1993.1035>.
20. Zhang L., Dehghani A., Su Z., King T., Greenwood B. and Levesley M. Development of a Mechatronic Sorting System for Removing Contaminants From Wool. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 2005, vol. 10, no. 3, pp. 297–304.
21. Oleg Evsegneev. *Robotics class. Automatic tracking of the orange ball*. Available at: <http://robotclass.ru/tag/openvc/>
22. *Finding contours and operations with them*. Available at: <http://robocraft.ru/blog/computervision/640.html>
23. *Fostering internationalisation in Agricultural Engineering in Iran and Russia (FARMER) 585596-EPP-1-2017-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP*. Available at: <http://asu.edu.ru/mejdunarodnaya-deyatelnost/9588-sodeistvie-internacionalizacii-agroinjenernogo-obrazovaniia-v-rossii.html>
24. Khojastehnazhand M. *Development of a lemon sorting system based on color and size*. Available at: http://www.academicjournals.org/article/article1380110185_Khojastehnazhand%20et%20al.pdf (accessed 21.09.2017).
25. *Object Sorting System Using Robotic Arm*, *Journaldatabase.info*, 2013. Available at: http://journaldatabase.info/articles/object_sorting_system_using_robotic.html (accessed 21.09.2017).
26. *OpenCV 2.4.13.7 documentations OpenCV API Reference. Image Processing*. Available at: https://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html?highlight=moments#moments
27. *System Using Robotic Arm*, *Journaldatabase.info*, 2013. Available at: http://journaldatabase.info/articles/object_sorting_system_using_robotic.html (accessed 21.09.2017).
28. *KUKA KR QUANTEC loads and unloads the tooling machine in its own factory*. Available at: <https://www.kuka.com/ru-ru/отрасли/база-данных-решений/2016/06/solution-robotics-kuka> (accessed 21. 06.2020).

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. В журнале публикуются материалы на английском и русском языках по тематике, соответствующей утвержденным для журнала отраслям наук, группам специальностей.

2. В список соавторов работ включаются только те лица, которые внесли творческий вклад в подготовку представленных материалов. Лицам, оказавшим только техническую помощь, можно выразить благодарность в конце статьи. Один человек может быть автором (соавтором) не более чем двух статей в одном номере журнала, причем единственным автором он может быть только в одной статье.

3. Объем публикаций для научных статей должен быть не менее 8 страниц, а количество источников в библиографическом списке (списке литературы) – не менее 15 позиций.

4. **Содержание** каждой статьи должно включать следующие элементы: УДК; название статьи; сведения об авторах, включая их место работы, должность, адрес электронной почты; аннотацию объемом от 100 до 250 слов, ключевые слова (от 9 до 13); графическую аннотацию, отражающую содержание статьи; название статьи, сведения об авторах, аннотацию и ключевые слова на английском языке (для англоязычных статей – на русском языке); введение – оно должно заканчиваться формулировкой цели работы в явной форме; собственно текст статьи – очень желательна его сегментация на разделы, имеющие содержательные заголовки; выводы или заключение (должны соответствовать формулировке цели статьи).

5. Для русскоязычных статей приводится два библиографических списка: на языке оригинала статьи; список с транслитерацией русскоязычных источников на латиницу и (дополнительно) приведением в квадратных скобках переводов названий статей и названий источников на английский язык.

В «русскоязычном» библиографическом списке (списке литературы) порядок следования источников – по алфавиту фамилий авторов (сначала русскоязычные источники, потом иноязычные). На все источники, включенные в библиографический список, должны быть даны ссылки в тексте статьи в квадратных скобках. При необходимости авторы могут указывать номера страниц в источниках, на которые даются ссылки. Приветствуются ссылки на иноязычные источники, а также на материалы, опубликованные ранее в журнале «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии». Однако в последнем случае количество таких ссылок не должно превышать 20 % от общего количества источников, включенных в библиографический список. Для источников, имеющих DOI, целесообразно его указывать. При ссылках на статьи, опубликованные в журнале «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии», целесообразно в конце библиографического описания источника в круглых скобках указывать гиперссылку, указывающую на место размещения статьи на странице сайта Астраханского государственного университета.

Ссылки в библиографическом списке на материалы, размещенные в интернете, допускаются при соблюдении следующих условий: если у материала, на который дается ссылка, имеется автор и/или название, то они должны быть указаны для этого источника; должен быть приведен полный маршрут доступа к источнику в интернете; должна быть указана дата обращения (доступа) к источнику.

Ограничения по списку литературы: доля самоцитирований для любого из авторов статьи, а также по совокупности всех авторов статьи, не должна превышать 25 %; доля ссылок на статьи с участием одного автора, не являющегося автором (соавтором) статьи, не должна превышать 25 %.

6. Суммарная доля таблиц и иллюстраций в общем объеме представляемой статьи не должна превышать 40 %. Под иллюстрациями понимаются следующие объекты: диаграммы; графики; рисунки; эскизы; фотографии; карты и т.п.

7. Доля оригинального текста в статьях (оцениваемого через систему «Антиплагиат» на сайте www.antiplagiat.ru) должна быть не менее 80 %.

8. Указание на то, что работа финансируется по какому-либо гранту, в рамках Федеральной целевой программы, государственного заказа и пр. дается в виде постраничной сноски после заголовка (названия) работы.

9. В сведения об авторах работ помимо места работы и должности целесообразно включать ORCID автора и гиперссылку на страничку с его личными наукометрическими показателями на сайте www.elibrary.ru. По желанию можно привести также ссылки на странички с наукометрическими показателями на Scopus, в ResearchGate; на личную страничку, размещенную на сайте организации.

10. Основные технические требования к оформлению статей (материалов):

10.1. Текст должен быть расположен по ширине страницы формата А4 с учётом полей (все поля по 2,5 см), набран шрифтом Times New Roman, кегль 14, межстрочный интервал 1,0. В таблицах, подрисовочных надписях допускается уменьшенный шрифт – вплоть до 10 кегля. Альбомная ориентация страниц допускается только в порядке исключения для следующих случаев: широкоформатные таблицы с большим количеством колонок; иллюстрации большого размера, которые не умещаются на странице с книжной ориентацией.

Абзацные отступы одинаковы по всему тексту – 1,25 см. Кавычки («»), скобки ([], ()), маркеры и другие знаки должны быть аналогичными на протяжении всего предоставляемого для публикации материала.

10.2. Все таблицы, рисунки, формулы должны иметь сквозную нумерацию в пределах текста статьи. Заголовки таблиц пишутся над ними и должны включать в себя номер таблицы и ее содержательное наименование.

10.3. Формулы должны иметь сквозную нумерацию в пределах текста статьи. Для формул желательно избегать «многоэтажных конструкций». Нумероваться могут только те формулы, на которые есть ссылки в статье. Размеры шрифтов для формул в MS Equation Editor: основные символы – 14 пт.; подстрочные и надстрочные индексы – 10 пт.; дополнительные индексы для подстрочных и надстрочных индексов – 8 пунктов. Константы в формулах записываются прямым шрифтом, переменные – курсивом (наклонным шрифтом); векторные и матричные величины – полужирным шрифтом. Матричные величины могут указываться в квадратных скобках, векторные величины (наборы скаляров) – в фигурных скобках.

Дополнительная информация для авторов статей

Основная тематика журнала и требования к научному уровню представляемых статей – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/trebovaniya.pdf>.

Адрес и телефоны редакционно-издательского дома – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/address.pdf>.

Пример оформления текста статьи – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/primer.pdf>.

Рекомендации по оформлению графических аннотаций – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/graf_ann.pdf, дополнительных материалов к статьям – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/dop_mat.pdf.

Подробные правила оформления таблиц – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/tables.pdf>, оформления формул – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/formul.pdf>, оформления иллюстраций – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/ilustr.pdf>.

Пример оформления основного списка литературы к статье – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/spisok_liter.pdf, транслитерированного списка – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/trasn_spisok_liter.pdf.

Дополнительные документы к статьям, представляемые авторами – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/dop_doc.pdf.

Переписка с авторами и порядок рецензирования статей – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/poryadok_recenz.pdf.

Условия и порядок оплаты статей – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/poryadok_oplaty.pdf.

RULES FOR THE AUTHORS – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/en-rules/rules-for-authors.pdf>.

**Подписка на наши издания осуществляется
по Объединённому каталогу «Пресса России»**

Журнал фундаментальных и прикладных исследований «Гуманитарные исследования»

Подписной индекс – 11109

В журнале публикуются статьи по широкому спектру проблем гуманитарного знания. Ведущие направления публикаций отражены в следующих рубриках: «Языкознание», «Литературоведение».

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 3762 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. E-mail: asupress@yandex.ru

Научно-технический журнал «Геология, география и глобальная энергия»

Подписной индекс – 11173

Редколлегия журнала принимает к рассмотрению статьи по проблемам геологии, нефтегазоносности различных регионов, охватывающие важнейшие и крайне полезные для науки и производства, а также для обучения студентов естественного направления.

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 4500 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. E-mail: asupress@yandex.ru

Научный журнал «Каспийский регион: политика, экономика, культура»

Подписной индекс – 11170

Профиль журнала – анализ проблем настоящего, прошлого и будущего Каспийского региона в их взаимосвязи с современным развитием мира.

Издание имеет многоплановый, междисциплинарный характер, знакомит читателя с исследованиями и дискуссиями во всех областях социальных и гуманитарных знаний по проблемам Каспийского региона.

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 3500 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. E-mail: asupress@yandex.ru

Научно-технический журнал «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии»

Подписной индекс – 73313

На страницах журнала представлены результаты исследований и новейшие разработки в области технических наук.

Ведущие направления публикаций отражены в следующих рубриках: «Управление в социальных и экономических системах», «Системный анализ, управление и обработка информации», «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», «Информационная безопасность и защита информации», «Информационно-измерительные и управляющие системы».

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 9000 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. E-mail: asupress@yandex.ru

Предлагаем всем желающим разместить в наших изданиях рекламу.

Адрес Издательского дома «Астраханский университет»:

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а; тел. (8512) 24-64-95, 24-68-37

e-mail: asupress@yandex.ru

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**2020
№ 3 (51)**

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Федеральной службы по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия
ПИ № ФС77-31932 от 16 мая 2008 г.

Учредитель
Астраханский государственный университет
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Адрес редакции:
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20

Адрес издателя:
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Подписной индекс – 73313
По Объединенному каталогу «Пресса России»

Главный редактор И.М. Ажмухамедов

Редактирование,
компьютерная правка, верстка *Н.Н. Сахно*

Дата выхода в свет 06.11.2020 г.

Цена свободная
Уч.-изд. 12,0. Усл. печ. л. 16,8.
Заказ № 4225. Тираж 500 экз. (первый завод – 22 экз.)

Оттиражировано на базе Издательского дома «Астраханский университет»
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а
Тел. (8512) 24-64-95, тел./факс (8512) 24-68-37
E-mail: asupress@yandex.ru