



*ISSN 2075-4957*  
*Научно-методический*  
*и информационный*  
*журнал*

# Вестник ЦБЖД

*Материалы Международного форума*  
*Kazan Digital Week – 2024*

*№ 3 (61) 2024*

**УЧРЕДИТЕЛЬ:** ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан»

Главный редактор – **Р.Н. Минниханов**, д.т.н., профессор, президент АН РТ, действительный член АН РТ, директор ГБУ «Безопасность дорожного движения»;

Заместитель главного редактора – **Р.Ш. Ахмадиева**, д.пед.н., профессор, академик-секретарь Отделения социально-экономических наук АН РТ, член-корреспондент АН РТ, заслуженный деятель науки РТ, ректор ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», руководитель ОСП «Научный центр безопасности жизнедеятельности Академии наук Республики Татарстан».

**Издание включено в перечень ВАК по специальностям:**

- 2.1.16. Охрана труда в строительстве (технические науки)
- 2.2.4. Приборы и методы измерения (по видам измерений) (технические науки)
- 2.2.5. Приборы навигации (технические науки)
- 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки)
- 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки)
- 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки)
- 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы (технические науки)
- 5.8.1. Общая педагогика, история педагогики и образования (педагогические науки)
- 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания (по областям и уровням образования) (педагогические науки)
- 5.8.3. Коррекционная педагогика (сурдопедагогика и тифлопедагогика, олигофренопедагогика и логопедия) (педагогические науки)
- 5.8.7. Методология и технология профессионального образования (педагогические науки)

Издается с 2009 г.

Издание зарегистрировано в системе РИНЦ

Электронная версия журнала размещена на сайте <http://www.vestnikncbgd.ru>

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ №ФС77-56192 от 15 ноября 2013 г.

Журнал «Вестник НЦБЖД» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Журнал распространяется по подписке. Распространение: свободная цена.

Подписной индекс по каталогу «Урал-Пресс» 84461. Периодичность: 4 номера в год

16+

**FOUNDER:** Scientific Center of Safety Research  
Chief Editor – **R.N. Minnikhanov**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, president of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Full Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Director of State Budgetary Institution «Road Safety»;

Deputy Chief Editor – **R.Sh. Akhmadieva**, Doctor of Pedagogic Sciences, Professor, Academician-Secretary of the Department of Social and Economic Sciences of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan Corresponding Member of the Academy of Sciences Republic of Tatarstan, Honored Worker of Science of the Republic of Tatarstan, Rector of Kazan State Institute of Culture, head of the «Scientific Center for Life Safety of the Academy of sciences of the Republic of Tatarstan».

**The publication is included in the list of Higher Attestation Commission by specialties:**

- 2.1.16. Labor protection in construction (Engineering sciences)
- 2.2.4. Instruments and methods of measurement (by type of measurement) (Engineering sciences)
- 2.2.5. Navigation devices (Engineering sciences)
- 2.2.8. Methods and devices for monitoring and diagnosing materials, products, substances and natural environment (Engineering sciences)
- 2.2.11. Information-measuring and control systems (Engineering sciences)
- 2.9.5. Operation of road transport (Engineering sciences)
- 2.9.8. Intelligent transport systems (Engineering sciences)
- 5.8.1. General Pedagogy, History of Pedagogy and Education (Pedagogic Sciences)
- 5.8.2. Theory and methods of training and education (by areas and levels of education) (pedagogic sciences)
- 5.8.3. Correctional pedagogy (deaf pedagogy and methods of teaching the blind, oligophrenopedagogy and speech therapy) (pedagogic sciences)
- 5.8.7. Methodology and technology of vocational education (pedagogic sciences)

Published since 2009

The edition is registered in the RSCI system

The electronic version of the journal is posted on the website <http://www.vestnikncbgd.ru>

Certificate of registration of the mass media PI №ФС77-56192 from November 15, 2013

The journal «Vestnik NTsBZhD» is registered with the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technologies and mass communications (Roskomnadzor).

The magazine is distributed by subscription. Distribution: free price.

Subscription Index for Ural-press Catalog 84461

Frequency: 4 issues per year

16+

---

---

Печатается по решению Ученого совета  
ОСП «Научный центр безопасности жизне-  
деятельности Академии наук Республики  
Татарстан»

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

*А.Л. Абдуллин*, д.т.н., профессор, действительный член АН РТ, зав. кафедрой автомобильных двигателей и сервиса Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ;

*А.Р. Абдульязнов*, к.с.н., генеральный директор НП «Федерация автошкол Республики Татарстан»;

*Р.Р. Алиуллов*, д.ю.н., профессор, начальник кафедры административного права, административной деятельности и управления ОВД Казанского юридического института МВД России;

*И.В. Аникин*, д.т.н., заведующий кафедрой систем информационной безопасности Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ;

*С.А. Булатов*, д.м.н., заведующий кафедрой симуляционных методов обучения в медицине Казанского государственного медицинского университета;

*Е.Е. Воронина*, к.пед.н., заместитель руководителя ОСП «Научный центр безопасности жизнедеятельности Академии наук Республики Татарстан»;

*А.А. Дмитриев*, д.пед.н., профессор, декан факультета специальной педагогики и психологии ГОУ ВО «Московский государственный областной университет»;

*С.В. Жанказиев*, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой организации и безопасности движения, проректор по науке МАДИ;

*В.Г. Закирова*, д.пед.н., профессор, заведующая кафедрой начального образования Института психологии и образования Казанского (Приволжского) федерального университета;

*Г.И. Ибрагимов*, д.пед.н., профессор кафедры педагогики высшей школы Института психологии и образования Казанского (Приволжского) федерального университета;

*Е.Г. Игнашина*, к.м.н., начальник отдела организации медицинской помощи детям и службы родовспоможения Министерства здравоохранения РТ;

*В.Т. Капитанов*, д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ, ведущий научный сотрудник Управления научно-исследовательских работ МАДИ;

*В. Мауро*, профессор Университета г. Турин (Италия), ведущий международный эксперт в области современных систем управления

Published by the decision of the Academic Council «Scientific Center of Safety Research of Academic of sciences of the Republic of Tatarstan»

**EDITORIAL COUNCIL:**

*A.L. Abdullin*, Doctor of Engineering Sciences, Professor, full member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, head of the Department of Automotive Engines and Service, KNITU named after A.N. Tupolev – KAI;

*A.R. Abdulzyanov*, Candidate of Sociological Sciences, CEO of Federation of Driving Schools of the Republic of Tatarstan;

*R.R. Aliullov*, Doctor of Juridical Sciences, Professor, Head of the Department of Administrative Law, Administrative Activities and of the Department of Internal Affairs of Kazan Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia;

*I.V. Anikin*, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department of Information Security Systems, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI;

*S.A. Bulatov*, Candidate of Medical Sciences, Head of the Department of Simulation Teaching Methods in medicine, Kazan State Medical University;

*E.E. Voronina*, Candidate of Pedagogic Sciences, deputy head of the Scientific Center for Life Safety of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;

*A.A. Dmitriev*, Doctor of Pedagogic Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Special Pedagogy and psychology, Moscow State Regional University;

*S.V. Zhankaziev*, Doctor of Engineering Sciences, Professor, MADI;

*V.G. Zakirova*, Doctor of Pedagogic Sciences, Professor, Head of the Department of Primary education of Institute of Psychology and Education, Kazan (Volga Region) Federal University;

*G.I. Ibragimov*, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Higher Education Pedagogy of the Institute of Psychology and Education of the Kazan (Volga Region) Federal University;

*E.G. Ignashina*, Candidate of Medical Sciences, Head of the Department of Organization of Medical Aid to children and obstetric services of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan;

*V.T. Kapitanov*, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Leading Research Officer of the Research Department of MADI;

*V. Mauro*, professor at the University of Turin (Italy), leading international expert in the field of modern traffic management systems, founder of the

дорожным движением, основатель Национальной ассоциации TTS Italia (Associazione Nazionale per la Telematica per i Trasporti e la Sicurezza);

*Р.Г. Минзарипов*, д.с.н., профессор, заведующий кафедрой социологии, президент Казанского (Приволжского) федерального университета, почетный работник высшего профессионального образования РФ;

*Д.М. Мустафин*, к.пед.н., начальник управления по реализации национальной политики департамента Президента Республики Татарстан по вопросам внутренней политики;

*Р.В. Рамазанов*, к.т.н., начальник управления - главный государственный инспектор Госавтонадзора Средне-Волжского управления Автонадзора межрегионального управления госавтонадзора Федеральной службы по надзору в сфере транспорта;

*С.Г. Розенталь*, к.б.н., доцент кафедры физиологии человека и животных Института фундаментальной медицины и биологии Казанского (Приволжского) федерального университета;

*Н.З. Сафиуллин*, д.т.н., д.э.н., профессор Казанского (Приволжского) федерального университета;

*Н.В. Святова*, к.б.н., доцент, декан факультета непрерывного образования по подготовке специалистов для судебной системы, заведующая кафедрой общеобразовательных дисциплин ФГБОУ ВО «Российский государственный университет правосудия» (Казанский филиал);

*В.В. Сильянов*, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, проректор университета по работе УМО, первый заместитель председателя Учебно-методического объединения Минобразования России по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов;

*Н.В. Суржко*, заместитель министра по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям РТ;

*М.В. Талан*, д.ю.н., профессор, заведующая кафедрой уголовного права Казанского (Приволжского) федерального университета;

*И.Я. Шайдуллин*, к.пед.н., доцент КНИТУ-КАИ;

*Л.Б. Шигин*, к.т.н., заместитель руководителя ОСП «Научный центр безопасности жизнедеятельности Академии наук Республики Татарстан».

National Association of TTS Italia (Associazione Nazionale per la Telematica per i Trasporti e la Sicurezza);

*R.G. Minzaripov*, Doctor of Sociological Sciences, Professor, Head of the Department of Sociology, president of Kazan (Volga Region) Federal University, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian;

*D.M. Mustafin*, Candidate of Pedagogic Sciences, Head of the Department for the Implementation of National policy of the Department of the President of the Republic of Tatarstan on domestic policy issues;

*R.V. Ramazanov*, Head of Department - Chief State Inspector of the State Automobile Supervision Authority of the Middle Volga Department of Avtodornadzor of the Interregional Department of State Automobile Supervision of the Federal Service for Supervision in the Sphere of Transport;

*S.G. Rosenthal*, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Human and Animal Physiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology of Kazan (Volga Region) Federal University;

*N.Z. Safiullin*, Doctor of Engineering Sciences, Doctor of Economic Sciences, Professor of Kazan (Volga Region) Federal University;

*N.V. Svyatova*, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Continuing Education for the Training of Specialists for the Judicial System Head of the Department of General Education Disciplines, Russian State University of Justice (Kazan branch);

*V.V. Silyanov*, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, vice-rector of the university for the work of the UMO, first deputy chairman of the Educational and Methodological Association of the Ministry of Education of Russia for education in the field of transport vehicles and transport-technological complexes;

*N.V. Surzhko*, Deputy Minister of Civil Defense and Emergency Situations of the Republic of Tatarstan;

*M.V. Talan*, Doctor of Juridical Sciences, Professor, Head of the Department of Criminal Law, Kazan (Volga) Federal University;

*I.Ya. Shaydullin*, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor KNIU-KAI;

*L.B. Shigin*, Candidate of Engineering Sciences, deputy head of the Scientific Center for Life Safety of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan.

Ответственный секретарь С.Г. Галиева  
© ОСП «Научный центр безопасности жизнедеятельности Академии наук РТ», 2024

Executive Secretary S.G. Galieva  
© Scientific Center of Safety Research, 2024

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Брякин И.В., Верзунов С.Н., Касимова А.У.</b> Интерпретация данных процесса электромагнитного зондирования посредством ЕЭМП.....	7
<b>Бобожанов М.К., Туйчиев Ф.Н., Тураев С.Д.</b> Повышение эффективности путем управления насосными установками на основе цифровых технологий.....	17
<b>Галиуллин И.Г., Чикрин Д.Е., Пашин Д.М., Кокунин П.А., Тимершин Б.А.</b> Вопросы герметизации и терморегулирования электронных систем в беспилотной сельскохозяйственной технике.....	23
<b>Зиннуров Т.А., Кормильцев В.С.</b> Повышение безопасности дорожного движения на криволинейных путепроводах.....	32
<b>Кайс Кайс Абдулрахман Али, Хузиахметова К.Р., Гатин М.Р., Мавлиев Л.Ф.</b> Развитие интеллектуальных транспортных систем в городах.....	43
<b>Минаев И.А., Хузяшев Р.Г., Тукаев С.М.</b> Определение начала сигнала переходного процесса по величине шума.....	50
<b>Минниханов Р.Н., Аникин И.В., Фарахов И.Р., Дагаева М.В., Габбазов Р.М., Карпенкова Д.И.</b> Интеграция подсистемы видеонаблюдения в единую платформу управления транспортной системой: технологии и реализация.....	58
<b>Мухаметжанов Р.Н., Каминский С.О., Омельянский Д.С.</b> Автоматизированная система позиционирования автооператора гальванической линии с использованием двухканального индуктивного энкодера и частотного преобразователя.....	64
<b>Николаева Р.В., Валиев Р.Ф.</b> Управление транспортной инфраструктурой на основе цифровых двойников.....	75
<b>Попов И.А., Гуреев В.М., Макаров Е.Г., Куликов А.С., Андриянов С.М.</b> Цифровые двойники – идеология, опыт и перспективы.....	80
<b>Свистельников А.А., Ковешников А.А., Феофанов В.В., Малыхина П.В.</b> Востребованность испытаний и исследований интеллектуальных транспортных систем и отдельных ее элементов.....	87
<b>Хамитов Р.М., Новоселов Н.Д.</b> Оптимизация сервисного обслуживания в электросетевом комплексе методами машинного обучения.....	95
<b>Хафизов Э.Р., Гарифуллин Д.Ф.</b> Техничко-экономическое сравнение приборов определения интенсивности транспортного потока.....	104
<b>Холкин А.В., Бикмуллина И.И.</b> Построение архитектуры системы обнаружения дорожных аномалий в режиме реального времени.....	111
<b>Шалагин С.В.</b> Оценка вероятности своевременной актуализации информационной модели динамически меняющейся предметной области.....	117

## ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Ахмадиева Р.Ш., Хусаинова Р.З.</b> Цифровые технологии в культуре и образовании.....	123
<b>Басюк В.А., Гараев Т.К.</b> Эффективность искусственного интеллекта в высшей математике.....	128
<b>Галимуллина Н.М., Феокистова И.Р.</b> Цифровые инструменты геймификации оценки знаний как компонента образовательного процесса.....	133

<b>Дроздикова-Зарипова А.Р., Гуторова Г.Д.</b> Преимущества и риски использования искусственного интеллекта в образовании: взгляд учителей и студентов – будущих педагогов.....	140
<b>Стрекалова Г.Р., Мочалова Н.В.</b> Цифровые технологии и искусственный интеллект в повышении качества образовательного процесса вуза.....	147
<b>Челнокова Т.А.</b> Цифровой контент в содержании дополнительного образования детей и подростков.....	156
<b>НАШИ АВТОРЫ</b> .....	163

УДК 620.179.14  
**ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ  
 ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО  
 ЗОНДИРОВАНИЯ ПОСРЕДСТВОМ  
 ЕЭМП**

**INTERPRETATION OF DATA OF THE  
 PROCESS OF ELECTROMAGNETIC  
 PROBING USING EEMF**

*Брякин И.В., д.т.н., профессор, заведующий лабораторией ИИС;  
 ORCID: 0000-0001-7463-8072;  
 E-mail: bivas2006@yandex.com;*  
*Верзунов С.Н., к.т.н., доцент, в.н.с., лаборатория ИИС;  
 ORCID: 0000-0003-3130-2776;  
 E-mail: verzunov@hotmail.com;*  
*Касимова А.У., аспирант Института машиноведения, автоматике и геомеханики Национальной академии наук Кыргызской Республики,  
 г. Бишкек, Кыргызская Республика;  
 E-mail: adina.kasimova.99@mail.ru*

*Bryakin I.V., doctor of technical sciences, Professor, Head of Laboratory IIS;  
 ORCID: 0000-0001-7463-8072;  
 E-mail: bivas2006@yandex.com;*  
*Verzunov S.N., candidate of technical sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Laboratory IIS;  
 ORCID: 0000-0003-3130-2776;  
 E-mail: verzunov@hotmail.com;*  
*Kasimova A.U., graduate student of the Institute of Mechanical Science, Automation and Geomechanics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic,  
 Bishkek, Kyrgyz Republic;  
 E-mail: adina.kasimova.99@mail.ru*

**Аннотация**

В статье рассматривается новая концепция многолучевого распределенного источника с активным движением для анализа и решения обратных задач в области геофизики. Центральным элементом исследования является анализ влияния естественных электромагнитных полей (далее – ЕЭМП), которые возникают в результате грозовой активности и проявляются в широком спектре радиочастот от 3 до 30 000 Гц. В работе детально описывается, как грозовые разряды инициируют формирование низкочастотных радиоизлучений, которые эффективно распространяются по атмосферному волноводу между землёй и ионосферой, создавая при этом информационно-насыщенное электромагнитное поле в земной коре. Также статья освещает разработку и теоретическую проверку новейшего метода для записи и анализа временных рядов компонентов ЕЭМП. Использование кросс-поляризационных элементов поля позволяет осуществлять тщательное зондирование и изучение подповерхностных слоёв, что предоставляет глубокие данные о геологических структурах и условиях. Описываются различные модели распределённых источников электромагнитного поля, подробно рассматриваются методы обработки собранных данных, что обеспечивает получение важной информации о свойствах геологической среды. Особое внимание уделяется процессам верификации и валидации данных, которые являются ключевыми для подтверждения надёжности и точности разработанных методов исследования. Особое внимание уделяется обеспечению высокой разрешающей способности предложенной методики, соответствующей строгим требованиям современной инженерной геологии, что делает её неопределимой для проведения комплексных диагностических исследований и глубокого зондирования подземных структур. Результаты исследования могут значительно улучшить качество интерпретации геофизических данных, предоставляя новые возможности для более детального понимания процессов, происходящих в земной коре. Применение разработанных методов и технологий может найти широкий спектр применений в разнообразных областях геонаук, включая поиск полезных ископаемых, оценку геологической стабильности и экологический мониторинг. Эти методики способствуют улучшению экологической безопасности и управлению природными ресурсами, что делает их неотъемлемой частью современных научных

исследований в области геофизики и экологии.

**Ключевые слова:** многолучевой распределенный источник, электромагнитное зондирование, временные ряды, грозовая активность, кросс-поляризационные компоненты, геофизика, электромагнитное поле

### Abstract

This paper presents a new concept of a multibeam distributed source with active motion for the analysis and solution of inverse problems in the field of geophysics. The central element of the study is the analysis of the influence of natural electromagnetic fields (NEMF), which are generated by lightning activity and manifest themselves in a wide spectrum of radio frequencies from 3 to 30,000 Hz. The paper describes in detail how lightning discharges initiate the formation of low-frequency radio emissions that effectively propagate along the atmospheric waveguide between the ground and the ionosphere, thereby creating an information-rich electromagnetic field in the earth's crust. The paper also covers the development and theoretical verification of a novel method for recording and analyzing time series of NEMF components. The use of cross-polarization field elements allows for detailed probing and study of subsurface layers, which provides deep insights into geological structures and conditions. Various models of distributed sources of the electromagnetic field are described, and methods for processing the collected data are discussed in detail, which provides important information about the properties of the geological environment. Particular attention is paid to the processes of data verification and validation, which are key to confirming the reliability and accuracy of the developed research methods. Particular attention is paid to ensuring high resolution of the proposed technique, meeting the strict requirements of modern engineering geology, which makes it invaluable for complex diagnostic studies and deep probing of underground structures. The research results can significantly improve the quality of geophysical data interpretation, providing new opportunities for a more detailed understanding of the processes occurring in the earth's crust. The application of the developed methods and technologies can find a wide range of applications in various fields of geosciences, including mineral exploration, geological stability assessment and environmental monitoring. These techniques contribute to improving environmental safety and natural resource management, which makes them an integral part of modern scientific research in the field of geophysics and ecology.

**Keywords:** multibeam distributed source, electromagnetic sounding, time series, thunderstorm activity, cross-polarization components, geophysics, electromagnetic field

### Введение

Известно, что в верхней части земной коры постоянно существует переменное ЕЭМП частотой 3–30 000 Гц, возникающее в основном из-за грозовой активности [1, 2]. Ежесекундно в земной шар ударяет около 100 молний, часть из которых сконцентрирована в центрах мировой атмосферной активности, а часть связана с местными грозами [3]. Грозовые разряды производят низкочастотное радиоизлучение, распространяющееся с малым затуханием в атмосферном волноводе «земля-ионосфера», создавая в земной коре электромагнитное поле широкого спектра

частот, с максимумом излучения около 10 кГц. Атмосферик, формирующийся на расстоянии около 200 км от точки разряда, состоит из квазисинусоидальных колебаний с максимумом энергии в полосе 5–10 кГц и низкочастотной части. Этот электромагнитный СНЧ-ОНЧ фон содержит информацию о грозовой активности и геологическом строении среды [4, 5]. Важным фактором является то, что электрическая составляющая поля определяется погонным затуханием волн в среде. Отношение кросс-поляризационных компонентов поля, измеренных на поверхности, позволяет определить подповерхностную



структуру грунта с разрешением порядка глубины залегания границы интересующего слоя [6].

### 1. Методика

Регистрируя специальными антенными модулями напряженности двух горизонтальных магнитных ( $H_x$  и  $H_y$ ) и одной вертикальной электрической ( $E_z$ ) компонент фонового электромагнитного поля, можно создать временные ряды значений этих компонентов. Эти временные ряды представляют собой массивы из  $n$ ,  $m$  и  $k$  чисел, которые содержат полезную информацию о различных параметрах среды. Методологический подход к обработке и анализу этих временных рядов позволяет получить всю необходимую информацию о свойствах геологической среды [7].

Любой временной ряд имеет два обязательных элемента: время и уровень ряда. Эти элементы можно различать по следующим признакам: 1 – время (моментное, интервальное); 2 – форма представления уровней (абсолютные, относительные и средние величины); 3 – расстояние между интервалами времени (полные и неполные временные ряды); 4 – содержание показателей (частные и агрегированные показатели)[8].

Проведенный анализ показал возможность зондирования слоистой структуры подповерхностного слоя методом измерения кросс-поляризованных компонентов ЕЭМП, так как разрешающая способность метода удовлетворяет требованиям инженерной геологии. Реальный резонатор «земля-ионосфера» возбуждается множеством грозовых разрядов, распределение которых меняется в течение суток.

Модель точечного постоянного по амплитуде мирового грозового центра, расположенного на экваторе, предполагает, что суточные вариации расстояния между источником и приемником приводят к регулярным изменениям СНЧ спектров. Более сложная модель включает три или более неподвижных центра с постоянными коор-

динатами, интенсивность которых изменяется во времени [9].

Таким образом, для разработки моделей временных рядов параметров ЕЭМПЗ предлагается использовать концепцию многолучевого распределенного источника с подвижным воздействием.

Рассмотрим некоторые особенности фундаментальных параметров подвижного воздействия с учетом того, что амплитуда воздействия для систем любой размерности является скалярным одномерным возмущением, а остальные параметры возмущения в общем случае являются векторными [10].

В этом случае состояние распределенной системы воздействия можно характеризовать скалярной функцией  $Q(x, t)$  пространственной независимой переменной  $x$ , принимающей значение из некоторой области  $D$  с границей  $\Gamma$   $n$ -мерного евклидова пространства  $E^n$  ( $x \in D \subset E^n$ ,  $x = \{x_1, x_2, \dots\}$ ) и временем  $t$  ( $t \in \Omega = [t_0, t_1]$ ). В некоторой подобласти  $G$  области, а во многих случаях на границе  $\Gamma$  области, определена функция подвижного воздействия, в общем виде имеющая вид  $F(x, t)$ , где

Область  $G \subset E^n$  является областью приложения воздействия для всего процесса возмущения. Введем понятие области мгновенного приложения воздействия  $M$ . Во многих случаях, в том числе в наиболее распространенном случае – при описании источника подвижного воздействия функцией Гаусса, область мгновенного приложения воздействия  $M$  может совпадать с областью приложения воздействия в течение всего процесса возмущения, т.е.  $M=G$ . Размерность  $m$  области  $M$  является размерностью источника воздействия в данный момент времени  $\mu \leq m \leq n$ . Будем считать, что размерность источника не меняется в процессе воздействия.

С учетом вышесказанного представим электродинамическую систему грозовых разрядов в виде множества элементарных

m источников воздействия:

$$F(x, t) = \sum_{j=1}^m F_j(x, t) \quad (1)$$

Изменения естественной флуктуации поля волны в месте приема могут возникнуть только в том случае, если под действием каких-то причин изменяются во времени свойства среды, в которой распространяется энергия волны. При этом естественно предположить, что под влиянием указанных причин изменяется поглощение радиоволн, а, следовательно, и напряженность электромагнитного поля в месте приема. Кроме того, дополнительным условием возникновения флуктуации поля можно считать многолучевость в процессе распространения электромагнитной волны.

Во многих случаях поле в месте приема создается в результате взаимодействия нескольких лучей, число которых может быть в одном случае конечным (дискретная многолучевость), а в другом – бесконечно большим (диффузная многолучевость).

Интегральная (суммарная) величина воздействия, которую можно считать интенсивностью воздействия, определяется выражениями:

$$u(t) = \int_G \psi(x, t)$$

– в случае непрерывной функции  $\psi(x, t)$

$$u(t) = \sum_{\{x\} \in G} \psi(x, t)$$

– в случае дискретной функции  $\psi(x, t)$ .

В результате функция  $F(x, t)$  разделяется на произведение двух функций:

$$F(x, t) = u(t) \times \psi(x, t) \quad (2)$$

где  $u(t)$  зависит лишь от времени и определяет интегральную величину воздействия;  $\psi(x, t)$  зависит от пространственных координат и времени, нормирована

$$\left( \int_G \psi(x, t) \times dx = 1 \right)$$

и определяет закон распределения плотности «единичного» воздействия в пространстве.

Регулярно изменяющаяся в силу множества объективных причин форма замкнутого контура источника волны фактически образует подвижный источник, который удобнее описывать в движущейся системе координат  $\chi(t)$ , жестко связанной с какой-либо характерной точкой  $s(t)$  самого источника:

$$\chi(t) = x - s(t) \quad (3)$$

Такой точкой является, например, центр тяжести закона распределения воздействия. В этом случае центром  $\mu$ -мерного, непрерывного, нормированного и знакостоянного закона распределения воздействия  $\chi(x_1, x_2, \dots, x_\mu)$  является точка  $s = (s_1, s_2, \dots, s_\mu)$ , координаты которой определяются по формуле:

$$s_i = \int \dots \int_M x_i \times \psi(x_1, x_2, \dots, x_\mu) \times dx_1 \times dx_2 \times \dots \times dx_\mu \quad (4)$$

Изменение в пространстве положения центра «тяжести» функции распределения воздействия определяет закон движения источника воздействия, который удобно выражать в виде вектор-функции:

$$s(t) = \{s_1(t), s_2(t), \dots, s_\lambda(t)\} \quad (5)$$

причем  $s \in S \subset G$ , где  $G$  – некоторая пространственная область, в которой определен закон движения центра тяжести источника ( $\lambda \leq \nu \leq n$ ). Размерность  $\lambda$  этой области может не совпадать с размерностью  $\mu$  источника действия. Случай  $\lambda > \mu$  имеет место, например, при движении в трехмерном пространстве ( $\lambda=3$ ) плоского источника воздействия ( $\mu=2$ ).

Закон непрерывного движения источника определяется изменением вектора его скорости

$$s(t) = s_0 + \int_0^t V(\tau) \times d\tau \quad (6)$$

где  $s_0$  – начальное положение центра источника;  $V(t)$  – скорость движения центра источника.

Закон распределения плотности воздействия подвижного источника относительно его центра будем считать формой подвижного источника, которая может зависеть от времени и является, по сути, возмущающим воздействием. Это изменение во времени в общем случае можно охарактеризовать с помощью вектора параметров формы источника:

$$p(t) = \{p_1(t), p_2(t), \dots, p_\mu(t)\} \quad (7)$$

где  $p_i(t)$  – параметр формы источника  $i$ -й координаты.

В результате форму источника воздействия можно представить в следующем виде:

$$\psi(x, t) = \psi[p(t), x-s(t)] \quad (8)$$

Частным и наиболее распространенным случаем параметрического задания формы источника является задание параметра сжатия (растяжения) формы вдоль  $i$ -й координаты. Например, при описании формы источника функцией Гаусса ( $\mu=1$ ):

$$F(\chi, t) = F_{max} \times \exp[-k(t) \times \chi^2] \quad (9)$$

где  $k(t)$  – коэффициент сосредоточенности или  $\sigma^2(t)=k(t)/2$  – дисперсия распределения – являются параметром формы.

Источник воздействия может совершать в пространстве не только поступательное, но и вращательное движение, подобное движению твердого тела в пространстве. Очевидно, имеет смысл говорить о вращении источника, если его размерность  $\mu \geq 2$ , и если форма источника несимметрична относительно его центра.

Чтобы охарактеризовать ориентацию (вращение) источника воздействия, необходимо с формой источника жестко связать ортогональные оси ориентации воздействия:  $\chi_1, \chi_2, \chi_3$ . За эти оси при нормальном распределении воздействия можно принять оси, вдоль которых определены дис-

персии функции распределения (или коэффициентов сосредоточенности –  $k_1, k_2, k_3$ ). Повороты осей ориентации формы источника относительно неподвижной (связанной с объектом) или подвижной (связанной с вектором скорости движения центра) системы координат можно описать формулами обратного преобразования координат. Для ( $\lambda=2$ ) эти формулы имеют вид:

$$\begin{aligned} \chi_1 &= [x_1 - s_1(t)] \times \cos\theta(t) + [x_2 - s_2(t)] \times \sin\theta(t), \\ \chi_2 &= -[x_1 - s_1(t)] \times \sin\theta(t) + [x_2 - s_2(t)] \times \cos\theta(t) \end{aligned} \quad (10)$$

где  $\chi_1, \chi_2$  – оси системы координат, жестко связанной с источником (в ней описана форма источника воздействия);  $\theta(t)$  – угол поворота осей ориентации источника относительно системы координат ( $x, x_2$ ).

Если вращение источника непрерывное, то в формулу (10) можно ввести вектор-функцию угла поворота на данный момент времени:

$$\theta_{(t)} = \{\theta_1(t), \theta_2(t), \dots, \theta_\zeta(t)\} \quad (11)$$

где  $C = Cv^2 = (v-1) \times v/2$  равно числу сочетаний из  $v$  по два.

В соответствии с (10) вращение в двумерном пространстве характеризуется одним углом, в трехмерном пространстве – тремя углами (углами Эйлера) и т.д.

В результате возмущение в системах с подвижным воздействием для большинства реальных процессов можно записать в следующем виде:

$$F(x, t) = u(t) \times \psi[p(t), x-s(t), \theta(t)] \quad (12)$$

где  $u(t)$  – интегральная величина (интенсивность) воздействия;  $\psi$  – форма источника воздействия;  $p(t), s(t), \theta(t)$  – векторы параметров соответственно формы, поступательного и вращательного движения источника.

Выбор в качестве параметра формы источника воздействия того или иного параметра зависит от вида источника воздействия, т.е. от закона (8). Как уже отмеча-

лось, наиболее часто в качестве параметра формы источника используется параметр сжатия. Изменение величины любого параметра формы источника вызывает изменение величины плотности воздействия почти для всех  $\chi \in G$  и не оказывает влияния на интегральное значение воздействия. Например, одномерный источник с гауссовским распределением воздействия в нормированном виде описывается следующим образом:

$$\psi(\chi, t) = \sqrt{\frac{k(t)}{\pi}} \times \exp[-k(t) \times \chi^2] \quad (13)$$

Для источника изменение величины параметра  $k(t)$  вызывает изменение плотности воздействия во всех точках  $c_1 = c_2 = \pm(\ln k_1 / k_2) / (k_1 - k_2)$ , а его интегральное значение будет равно единице при всех  $k(t)$ .

В отличие от параметров формы, выбор числа параметров движения  $s(t)$  и  $\theta(t)$  определяется в основном размерностью и свойствами естественных формирующих природных процессов.

### 3. Феноменологическое обоснование концепции

Для более наглядного представления сути предлагаемой концепции и с учетом сделанных замечаний рассмотрим упрощенный вариант интерпретации процессов грозовых разрядов на плоскости в полярной системе координат, имеющей полюс в точке В (фокус) и сориентированной полярной осью В-О соответствующим образом относительно географических полюсов.

Будем считать, что возмущающее электромагнитное поле формируется в результате интерференции множества попарно сходящихся лучей в точке фокуса В, создаваемых  $m$  элементарными источниками электромагнитных гомоцентрических пучков лучей с функциями воздействия  $F(r_m, \varphi_m)$  ( $m=1, 2, \dots, M$ ), и которые образуют в плоскости полярных координат ус-

ловно пространственно-распределенный подвижный источник электромагнитного поля в виде замкнутого контура сложной формы, наделены определенными свойствами (рис. 1, а).

Подобную совокупность элементарных источников гомоцентрических электромагнитных лучей, образующих замкнутый контур произвольной конфигурации, можно привести к кластерной структуре, каждый элемент которой (лучевой источник) обладает одной и той же функцией воздействия  $|F_i(r_1, \varphi_1)| = |F_i(r_2, \varphi_2)| = \dots = |F_i(r_m, \varphi_m)|$  и равно отстоит от фокуса (геометрического центра) этой структуры на расстоянии (рис. 1, б).

Иными словами, существующие флуктуации интенсивности излучения электромагнитной волны элементарных лучевых источников можно свести к величине суммарного результата функций воздействия, а форма контура многолучевого источника электромагнитного излучения в этом случае будет представлять собой виртуальную окружность соответствующего радиуса с фокусом воздействия В (центр тяжести закона плотности распределения воздействия) и соответствующей суммарной функцией воздействия:

$$F_{\tau}^r = \sum_{m=1}^M [F(r_{\tau}^*, \varphi_m - \tau) - F(r_{\tau}^*, \varphi_m + \tau)] \quad (14)$$

$$r_{\tau}^* = m^{-1} \times \sum_{j=1}^m |r_j| \quad (15)$$

где  $\varphi_m = \frac{2\pi}{M} \times m$ ,  $\varphi_m \in [0, 2\pi]$ ;  $\tau$  – индекс, характеризующий номер цикла регистрации суммарного результата функций воздействия;  $F(r_{\tau}^*, \varphi_m)$  и  $F(r_{\tau}^*, \varphi_m + \pi)$  – соответствующие функции воздействия от пары диаметрально противоположных элементарных лучевых источников, имеющих встречную направленность.

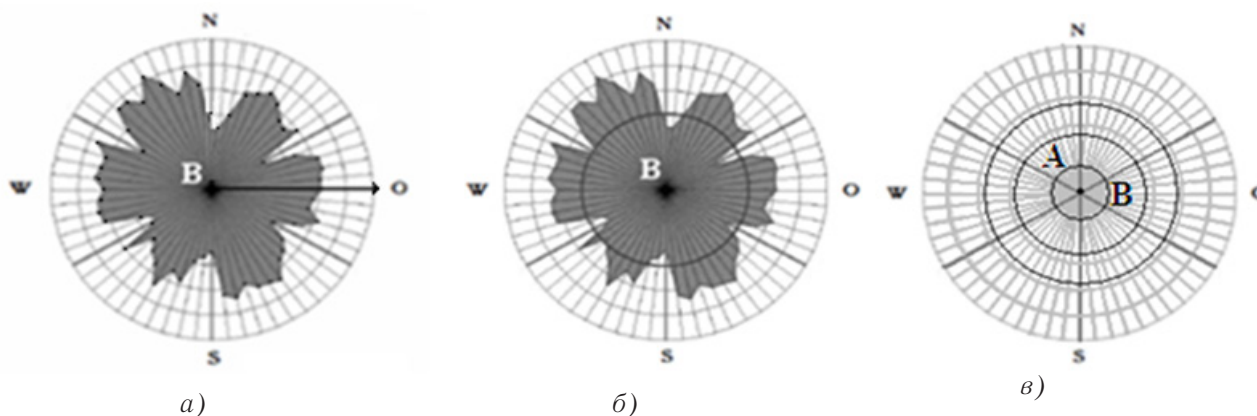


Рис. 1. Модели распределенного источника электромагнитного поля

С учетом вышесказанного будем считать, что процесс формирования суммарного результата многолучевого воздействия  $\dot{F}_\tau(r_\tau, \delta_\tau)$  элементарных лучевых источников в неподвижной точке наблюдения  $A$  определяется двумя факторами: 1 – случайные смещения фокуса  $B$  многолучевого воздействия относительно точки наблюдения  $A$ ; 2 – локальная неоднородность окружающей среды в зоне нахождения точки наблюдения  $A$ .

Исходя из природных свойств окружающей среды, будем рассматривать процесс формирования суммарного результата многолучевого воздействия  $\dot{F}_\tau(r_\tau, \delta_\tau)$  элементарных лучевых источников отдельно под влиянием первого фактора и отдельно под влиянием второго фактора.

В идеальном варианте, т.е. при совпадении точки регистрации (наблюдения)  $A$  с фокусом  $B$  многолучевого воздействия

и наличии изотропной среды со свойствами абсолютного диэлектрика, суммарный результат такого многолучевого воздействия при его регистрации в точке наблюдения  $A$  будет иметь нулевое значение  $\dot{F}_\tau = 0$  при любом значении  $r_\tau^* = var$  (рис. 1, в).

Рассмотрим процесс проявления первого влияющего фактора, при котором полярный радиус  $r_\tau^*$  можно считать величиной, характеризующей значения функций воздействия элементарных источников и являющейся случайным (нерегулярным) вариативным параметром, связанным с наличием естественных меняющихся случайным образом природных факторов окружающей среды, дополнительно вызывающих соответствующие случайные смещения фокуса  $B$  многолучевого воздействия относительно координат точки наблюдения  $A$  (рис. 2, а–в).

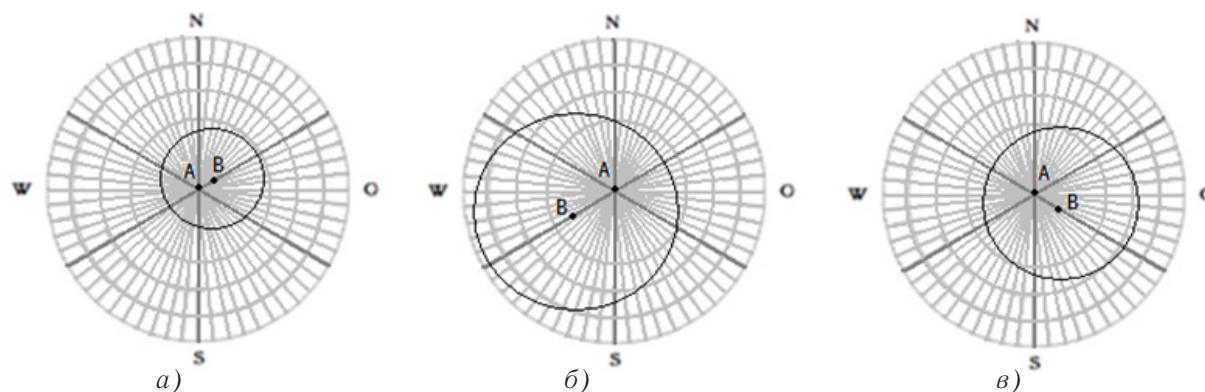


Рис. 2. Модели флуктуаций результирующей воздействия

В этом случае в точке наблюдения  $A$  будет регистрироваться суммарный результат этого воздействия уже в виде конкретного ненулевого значения его величины  $\overset{1}{F}_\tau \neq 0$ , непосредственно связанного с смещением  $\delta_\tau = var$  фокуса  $B$  относительно точки регистрации  $A$  и фактически им определяемым.

Таким образом, случайные изменения суммарного результата многолучевого воздействия  $\overset{1}{F}_\tau(r_\tau, \delta_\tau)$  элементарных лучевых

$$\overset{1}{F}_\tau(r_\tau^*, \delta_\tau) = \sum_{m=1}^M \{F[r_m, \delta_\tau, \varphi_m] - F[r_n, \delta_\tau, \varphi_m + \pi]\} = \sigma \times \sum_{m=1}^m \delta_\tau \times [\sin \varphi_m - \sin(\varphi_m + \pi)] \quad (16)$$

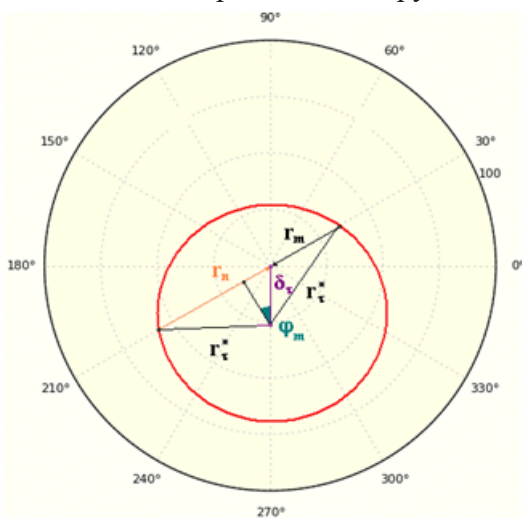
где  $\sigma$  – размерный коэффициент;  
 $r_n = r_{(2m+M)/2}$ .

Рассмотрим процесс проявления второго влияющего фактора, при котором локальная неоднородность окружающей

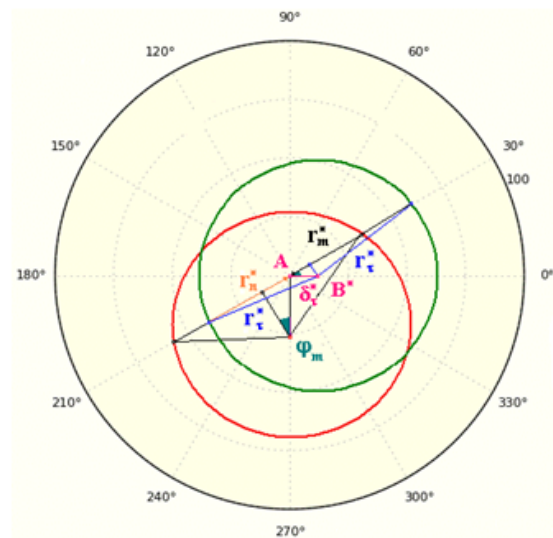
источников, вызванные случайными вариациями природных факторов окружающей среды (первый фактор), будут проявляться в виде соответствующего смещения  $\delta_\tau$  фокуса  $B$  подвижного источника электромагнитного поля относительно неподвижной точки наблюдения  $A$  (рис. 3, а).

В этом случае для суммарного результата многолучевого воздействия  $\overset{1}{F}_\tau(r_\tau, \delta_\tau)$  элементарных лучевых источников можем записать:

среды в зоне нахождения точки наблюдения  $A$  вызывает соответствующее смещение  $\delta_\tau^*$  фокуса  $B$  многолучевого воздействия относительно координат точки наблюдения  $A$ .



а) при наличии первого фактора



б) при наличии первого и второго факторов

Рис. 3. Модели флуктуаций результирующей воздействия

При этом считается, что полярный радиус  $r_\tau^*$  также является случайным вариативным параметром, характеризующим значения функций воздействия элементарных источников и являющейся связанным с наличием естественных меняющихся случайным образом природных факторов окружающей среды, но не вызывающих

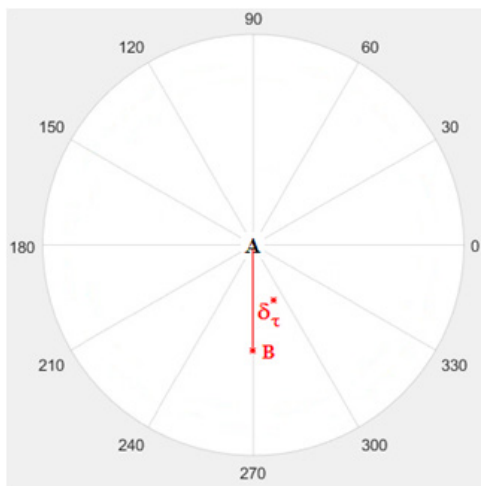
дополнительно случайных смещений фокуса  $B$  многолучевого воздействия относительно координат точки наблюдения  $A$  (рис. 3, б).

В этом случае для суммарного результата многолучевого воздействия  $\overset{1}{F}_\tau^*(r_\tau^*, \delta_\tau^*)$  элементарных лучевых источников можем записать:

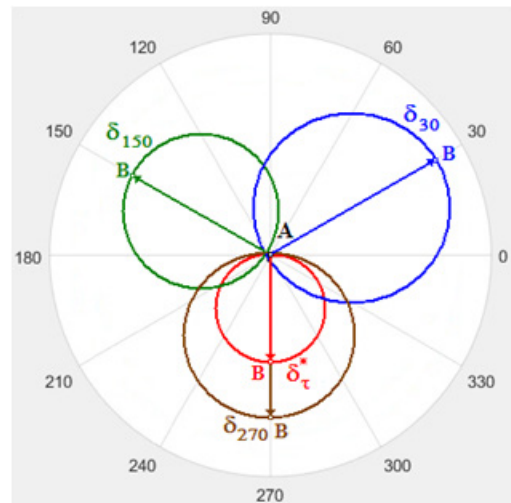
$$F_{\tau}^*(r_{\tau}^*, \delta_{\tau}^*) = \sum_{m=1}^M \{F_{\tau}^*[r_m^*, \delta_{\tau}^*, \varphi_m] - F_{\tau}^*[r_m^*, \delta_{\tau}^*, \varphi_m + \pi]\} = \sigma^* \times \sum_{m=1}^M \delta_{\tau}^* \times [\sin \varphi_m - \sin(\varphi_m + \pi)] \quad (17)$$

При такой интерпретации наблюдаемых процессов появление в зоне действия многолучевого распределенного источника с подвижным воздействием аномальной неоднородности естественной среды вызовет соответствующее перераспределение результатов воздействий для каждой пары диаметрально противоположных элементарных лучевых источников, что, в свою очередь, приведет к соответствующему изменению величины суммарного результата многолучевого воздействия.

Таким образом, второй влияющий фактор проявляется в виде дополнительного смещения  $\delta_{\tau}^*$  между фиксированной точкой наблюдения  $A$  и подвижным фокусом  $B$  виртуальной окружности, которое обладает определенным свойством регулярности, определяемым постоянством координат точки наблюдения  $A$  и конкретными параметрами аномальной неоднородности среды в точке наблюдения  $A$  (рис. 4а).



а) при наличии регулярной составляющей



б) при наличии регулярной и случайной составляющей

Рис. 4. Модели смещений подвижного фокуса виртуальной окружности  $B$  относительно точки наблюдения  $A$

Учитывая свойства аддитивности двух рассмотренных факторов влияния, для каждого цикла регистрации суммарного

результата функций воздействия можем записать (рис. 4б):

$$\begin{aligned} F_{\tau}^{\Sigma} &= F_{\tau}^*(r_{\tau}^*, \delta_{\tau}^*) + F_{\tau}^*(r_{\tau}^*, \delta_{\tau}^*) \Rightarrow \\ \Rightarrow \sigma^* \times \sum_{m=1}^M \delta_{\tau}^* \times [\sin \varphi_m - \sin(\varphi_m + \pi)] &+ \sigma^* \times \sum_{m=1}^M \delta_{\tau}^* \times [\sin \varphi_m - \sin(\varphi_m + \pi)] \end{aligned} \quad (18)$$

Из данного выражения следует, что формируемый из него временной ряд содержит два типа составляющих: детерминированную и случайную. В данном случае регулярная составляющая будет содержать следующие структурные компоненты:

- 1) тренд или систематическое движение;
- 2) колебания относительно тренда;
- 3) циклическая;
- 4) «интервенция». Случайная составляющая ряда фактически является результатом воздействия различных факторов случайного характера, затрудняю-

ших обнаружение регулярных компонентов. Она также имеет сложную структуру, формируясь под действием факторов двух видов: 1) факторов внезапного действия; 2) текущих факторов.

#### 4. Выводы

Разработана новая концепция многолучевого распределенного источника с подвижным воздействием для решения задач обратной геофизики с использованием методов электромагнитного зондирования ЕЭМП. Проанализировано воздействие ЕЭМП, возникающее из-за грозовой активности на подповерхностные структуры Земли. Результаты анализа показали, что грозовые разряды создают низкочастотное радиоизлучение, которое через атмосферный волновод «земля-ио-

носфера» формирует электромагнитные поля в земной коре, несущие информацию о грозовой активности и геологическом строении. Метод регистрации и анализа временных рядов компонент ЕЭМП через кросс-поляризационные компоненты поля продемонстрировал высокую эффективность в исследовании структуры подповерхностного слоя. Модели распределенного источника электромагнитного поля позволяют учитывать случайные смещения и локальные неоднородности среды, обеспечивая точные данные о состоянии подповерхностных структур. Рассмотренный метод зондирования может найти применение в инженерной геологии и смежных дисциплинах.

#### Список литературы

1. Поспеев, А. В. Современная практическая электроразведка. / А. В. Поспеев, И. В. Буддо, Ю. А. Агафонов [и др.]; Под науч. ред. Д. П. Гладкочуба. – Новосибирск : Академическое издательство «Гео», 2018. – 231 с.
2. Martín-Hernández F., Ferré E. C., Friedman S. A. Remanent magnetization in fresh xenoliths derived from combined demagnetization experiments: Magnetic mineralogy, origin and implications for mantle sources of magnetic anomalies. *Tectonophysics*. 2014. Vol. 624–625. Pp. 24-31.
3. Roy K.R. *Natural Electromagnetic Fields in Pure and Applied Geophysics*. 1st ed. Springer Geophysics, 2020. – 608 p.
4. Жданов, М. С. Геофизическая электромагнитная теория и методы: пер. с англ. / М. С. Жданов. – Москва : Научный мир, 2012. – 679 с.: ил.
5. Zhang Q., Zhao S., Shen X. Case study of radio emission beam associated to very low frequency signal recorded onboard CSES satellite. *Atmospheric Research*. 2023. Vol. 20. P. 77-89.
6. Гончаренко, А. А. Дистанционное зондирование неоднородных сред. / А. А. Гончаренко, В. Ф. Кравченко, В. И. Пономарев. – Москва : Научно-техническое издательство «Машиностроение», 1991. – 256 с.
7. Schulz M., Schröder S., Oettinger C. Geoelectric monitoring at the Boulder magnetic observatory. *Geophysical Institute*. 2021. Vol. 31. Pp. 143-156. URL: <https://gi.copernicus.org/articles/31/143/2021/>.
8. Mansor M.M., Glonek M.E., Green D.A., Metcalfe A.V. Threshold Autoregressive Models for Directional Time Series. In: *Time Series Analysis and Forecasting: Selected Contributions from the ITISE Conference*. SpringerLink, 2021. Pp. 13-25.
9. Хмелевской, В. К. Геофизические методы исследования земной коры / В. К. Хмелевской. – Книга 1. – Дубна : Международный университет природы, общества и человека «Дубна», 1999. – 204 с.
10. Levine W.S. *Fundamentals of Dynamical Systems*. In: *Handbook of Networked and Embedded Control Systems*. Eds. Hristu-Varakelis D., Levine W.S. Birkhäuser Boston, 2005.



УДК 628.12

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПУТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНЫМИ  
УСТАНОВКАМИ НА ОСНОВЕ  
ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Бобожанов М.К., д.т.н., профессор;  
Туйчиев Ф.Н., к.т.н., доцент кафедры  
«Электроснабжение» Ташкентского  
государственного технического  
университета им. Ислама Каримова;  
Тураев С.Д., ассистент кафедры  
электроэнергетики  
и электротехники Бухарского института  
управления природными ресурсами  
Национального исследовательского  
университета «Ташкентский институт  
инженеров ирригации и механизации  
сельского хозяйства»,  
г. Бухара, Республика Узбекистан*

**IMPROVING EFFICIENCY THROUGH  
THE CONTROL OF PUMP UNITS BASED  
ON DIGITAL TECHNOLOGIES**

*Bobozhanov M.K., Doctor of Technical Sciences,  
Professor;  
Tuychiev F.N., Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Department of  
Electricity Supply, Tashkent State Technical  
University named after Islam Karimov;  
Turaev S.D., Assistant, Department of Electrical  
Power and Electrical Engineering,  
Bukhara Institute of Natural Resources  
Management, National Research University  
«Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural  
Mechanization Engineers»,  
Bukhara, Uzbekistan*

**Abstract**

This article discusses the using of two-speed asynchronous motors with pole changing winding for the pump units of a water supply company and their control based on digital technologies. Additionally, data is provided on increasing the energy efficiency of the enterprise through the development of a smart control mechanism for pump units using a Fuzzy smart control mechanism based on the Mamdani method. The analysis of two types of Fuzzy smart control mechanisms was carried out. The development of the second type of smart control system based on Fuzzy logic was implemented in 5 stages. The operational diagram of the smart control system is provided. The smart control system is considered as the error of the Fuzzy second type model, and it is presented in the table

**Keywords:** Fuzzy, SCADA, PLC, HMI, Cloud services and IoT, pump motors, propellers, smart, Mamdani, first type, model, second type

**Аннотация**

В данной статье рассматривается применение двухскоростных асинхронных двигателей с полюсной обмоткой для насосных агрегатов предприятия водоснабжения и их управление на основе цифровых технологий. Дополнительно приводятся данные о повышении энергоэффективности предприятия за счет разработки интеллектуального механизма управления насосными агрегатами с использованием интеллектуального механизма управления Fuzzy на основе алгоритма Мамдани. Проведен анализ двух типов интеллектуальных механизмов управления Fuzzy. Разработка второго типа интеллектуальной системы управления на основе нечеткой логики была реализована в 5 этапов. Приведена операционная схема интеллектуальной системы управления. Интеллектуальная система управления рассматривается как ошибка модели Fuzzy второго типа, которая представлена в таблице.

**Ключевые слова:** Fuzzy, SCADA, ЛЭП, ЧМИ, облачные сервисы и интернет вещей, насосные двигатели, пропеллеры, смарт, Мамдани, первый тип, модель, второй тип

At present time, digital technologies are widely used in various industrial sectors, significantly increasing their efficiency. Water supply and pump unit control system are no exceptions.

Proper organization of an automatic

control system in the water supply system can significantly increase energy efficiency. Implementing an efficient management system in the water supply system reduces energy consumption, increases the reliability of the water supply system, and ensures its long-term stable operation [1, 2, 3].

Currently, the water supply company has systems for starting and stopping automated pump units, as well as devices for measuring water consumption and pressure. However, the management system involves activating the necessary units or shutting down some units through a dispatcher, based on water consumption demand [4, 5].

Furthermore, the use of two – speed motors for pump units increases the need to automate the control system. Arising from this necessity, the task focuses on developing a mathematical model for organizing automatic control (hereafter referred to as smart control).

To address the above shortcomings, it is necessary to develop an automated control system for the water supply company by using multi-speed asynchronous motors with variable poles and digital technologies [6, 7]. Various software tools and technologies can be used to develop an automated control system for the water supply company. The following are examples of such tools and technologies.

- SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition);
- PLC (Programmable Logic Controller);
- HMI (Human Machine Interface);

- Cloud services and IoT (Internet of Things).

Water supply companies in our republic are currently developing their water supply systems using SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) systems, but the above-mentioned shortcomings persist and are being addressed at present.

To optimize and eliminate shortcomings in the management system of the water supply company, automating processes using Programmable Logic Controllers (PLC) and digital technologies enables real-time data processing and efficient system management [8, 9].

Considering the complexity of the operational structure and the presence of dynamic variables within the company, the use of Fuzzy logic is considered to achieve the intended goals.

Based on Fuzzy logic, the smart control mechanism is divided into two types:

- the first type of smart control mechanism;
- the second type of smart control mechanism.

The primary difference between the first and second types of smart control mechanisms lies in the complexity of their fuzzification and membership functions. The first type, Fuzzy smart control mechanisms, adhere to the conventional form of Fuzzy logic, where each element expresses its membership grade within a specific set as a singular membership value between 0 and 1 (Figure 1).

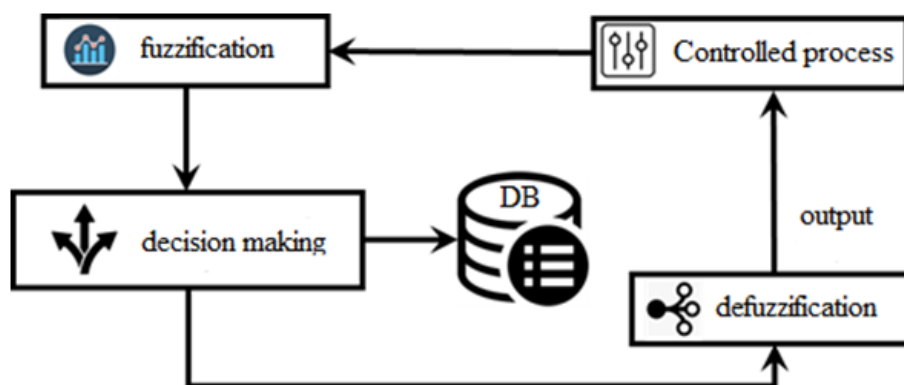


Figure 1. First type of smart control mechanisms

In it, a decision is made on the basis of differentiation, taking into account the degree of dependence of  $\mu_x(x)$ -value between  $D_A$  data sets [10, 11]:

$$A = \int_{D_A} \mu_A(x) / x \quad (1)$$

In the first type of *Fuzzy* logic, the membership function is precise and definite,

meaning each input value belongs to a specific *Fuzzy* set to a certain degree.

The second type, smart control mechanisms, is an extended version of the first type of *Fuzzy* control mechanisms, where instead of a single value for the membership degree, a range of possible values is introduced (Figure 2).

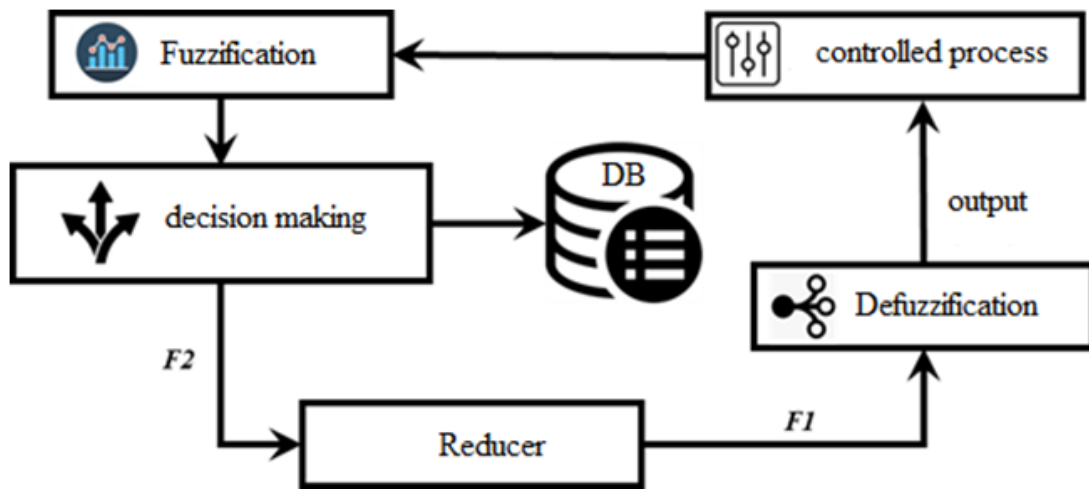


Figure 2. Second type of smart control mechanisms

This approach is used in processes where the membership function is difficult to determine due to the dynamic properties of the system. In this case, the final decision is made by summing the value of the input value  $x$  in the set  $D_x$  to the corresponding values of the value in the secondary set  $J_x$  [12, 13]:

$$\tilde{A} = \{((x,u), \mu_{\tilde{A}}(x,u)) \mid \forall x \in X; \forall u \in J_x \subseteq [0,1] \}$$

In the given formula (4.2), the data set  $\tilde{A}$  is defined as follows:

$$\begin{aligned} \tilde{A} &= \iint_{x \in D_x, u \in J_x \subseteq [0,1]} \frac{\mu_{\tilde{A}}(x,u)}{(x,u)} = \iint_{x \in D_x, u \in J_x \subseteq [0,1]} \frac{1}{(x,u)} = \\ &= \int_{x \in D_x} \left[ \int_{u \in J_x \subseteq [0,1]} \frac{1}{u} \right] \frac{1}{x} \cdot \end{aligned} \quad (3)$$

The first and second types of smart control mechanisms depend on the requirements of

the problem, its level of uncertainty and available calculation results.

The main problem posed in this chapter of the dissertation is the selection of output parameters, taking into account the range of several variable input parameters, in the smart control system of the CUV supply company. In particular, three two-speed motors are installed on the pumps to bring water from three reservoirs, and the water drawn from them moves in one direction in general (Figure 3). In order to implement a smart control system, propellers (B) and motors are controlled by a programmable logic controller (PLC) [14, 15]. In this case, it is necessary to take into account not only the water consumption of the pumps, but also the value of the pressure in the pipe. Therefore, it is appropriate to use the mechanism of the second type in this issue.

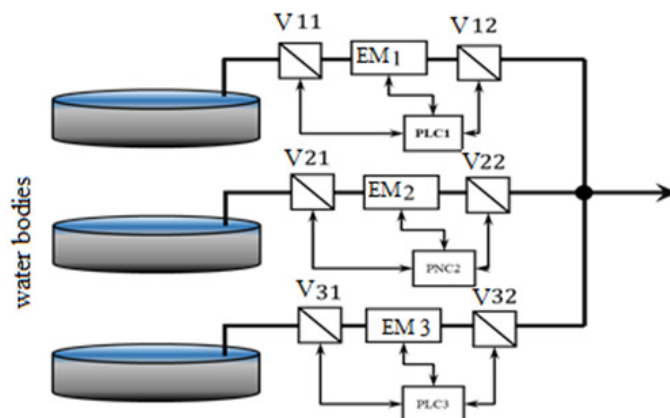


Figure 3. General scheme of the research object

D – pump motors, PLC – programmed logical controllers, V – propellers

Due to the nature of the problem and the selection of the second type of Fuzzy logic, the development of a mathematical model of smart control is carried out on the basis of the following steps (Figure 4).

1. Analysis of the demand for water and setting the limit values of water consumption.
2. Calculation of the necessary pressure in water pipes, electric energy consumption of the pump and similar secondary parameters based on the demand for water.
3. Development of Fuzzy control logic

according to calculated values.

4. Estimation of annual electricity consumption based on the developed Fuzzy control logic.

It is known that the development of a control system based on any second type of Fuzzy logic is carried out on the basis of the following 5 stages:

- defining input and output variables;
- development of fuzzy sets and their membership functions;
- construction of fuzzy rules;
- choosing a management method;
- choosing a defuzzification model.

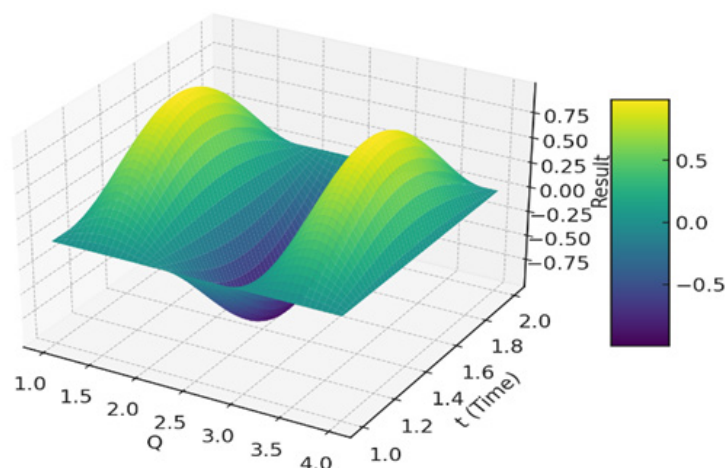


Figure 4. Fuzzy rule set graph of smart control

The complex input with two different membership functions and the output with a different transformation law in the above

problem show that this complex connection can only be modeled using the Mamdani method (Figure 5).

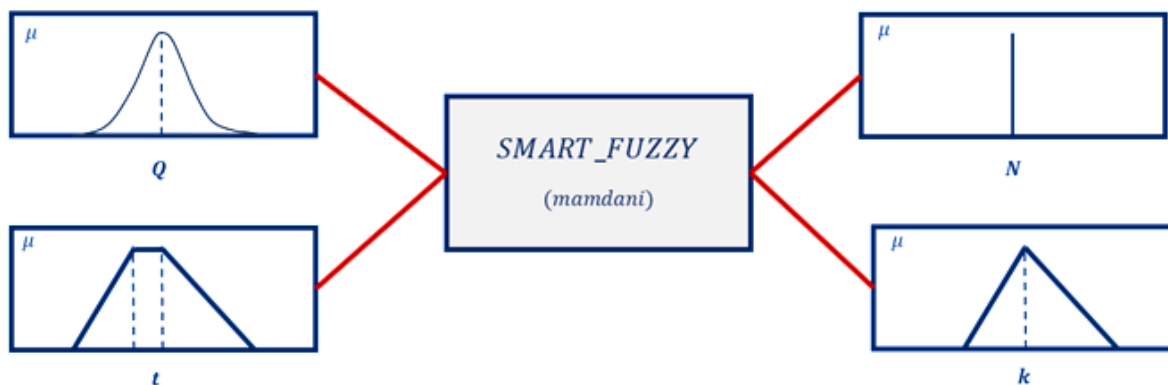


Figure 5. Functional diagram of the smart control system

Table 1

Smart control system Fuzzy second type model error calculation table

Time interval	V (thousand.m <sup>3</sup> )		APE	MAPE
	summer	Model	%	%
24-1	4,14	4,35	4,3	1,7
1-2	4,08	3,95	3,2	
2-3	4,17	4,35	4,3	
3-4	4,83	4,7	2,7	
4-5	4,50	4,575	1,7	
5-6	5,30	5,2	1,9	
6-7	5,20	5,2	0,0	
7-8	5,40	5,325	1,4	
8-9	5,10	5,2	2,0	
9-10	5,50	5,95	8,2	
10-11	5,95	5,95	0,0	
11-12	6,00	5,95	0,8	
12-13	6,00	5,95	0,8	
13-14	5,95	5,95	0,0	
14-15	5,90	5,95	0,8	
15-16	5,90	5,95	0,8	
16-17	5,95	5,95	0,0	
17-18	5,89	5,95	1,0	
18-19	5,88	5,95	1,2	
19-20	5,97	5,95	0,3	
20-21	6,00	5,95	0,8	
21-22	5,95	5,95	0,0	
22-23	5,10	5,2	2,0	
23-24	4,50	4,575	1,7	

The 1,7% error of the developed model is within the permissible range, which means that this control system can be implemented.

The analysis of the existing smart control algorithms shows that in the organization of the automatic control system of water supply enterprises with complex control logic, the smart control type 2 mechanism based on Fuzzy logic is better than other probabilistic

methods such as Bayesian networks, Markov models. It has been scientifically proven that it is effective.

A Fuzzy smart control mechanism based on the Mamdani method was developed, as a result of which the possibility of automatic control of complex water supply systems with 98,3% accuracy was created.

### References

1. Bobojanov M., Rismukhamedov D., Tuychiev, F., Shamsutdinov, Kh. (2021). Development and research of pole-changing winding for a close pole ratio. E3S Web of Conferences 264, (CONMECHYDRO–2021), Tashkent, pp. 1-7.
2. Bobojanov M. Induction machine with pole-changing winding for Turbomechanisms / Archives of Electrical Engineering. Vol.72 (2), pp. 415-428 (2023).
3. Bobojanov M.K., Rismukhamedov D.A., Tuychiev F.N., Shamsutdinov H.F. and Magdiev H.G.. Construction and analysis of the pole-changing windings for the pole pairs ratio 5/6 by method discretely specified spatial function// International Journal of Advanced Science and Technology, Vol. 29, № 11s (2020), pp. 1410-1415.
4. Bobojanov M.K., Rismukhamedov D.A., Tuychiev F.N., Magdiev Kh.G.. Application of pole-changing windings for asynchronous motors of ventilation systems // Journal «Problems of energy and resource saving». – Tashkent, 2022. № 4, pp. 158-164.
5. Bobojanov M.K., Rismukhamedov D.A., Tuychiev F.N., Shamsutdinov Kh.F. Development of new pole-changing winding for lifting and transport mechanisms / E3S Web of Conferences 365, 04024 (2023) CONMECHYDRO–2022.
6. Bobojanov, M., Torayev, S. Saving electrical energy by using induction motors with pole changing windings in the water supply system E3S Web of Conferences This link is disabled., 2023, 384, 01045.
7. Bobojanov M., Tuychiev F., Nurov H., Torayev S., Achilov H., Holliyev J. Determining the optimal steps of the number of fields with variable windings E3S Web of Conferences 497, 01014 (2024).
8. Aliyev, F.S. & Farhadzade, E.M & Aliyev, E.F.. (2021). On increase of energy efficiency of support system for formation pressure due to the improvement of control regimes of cluster pump stations. Azerbaijan Oil Industry. 27-31.
9. Tang, Y. & Zhang, S.. (2013). Model predictive control of energy efficiency of an intake pump station. Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. 44. 50-54.
10. El-koliel, Saleh & Eleissawi, Hussien & Nada, Adel. (2022). Speed control of electrical submersible pumps using fuzzy logic control. International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS). 13. 2515.
11. Mendel, Jerry. (2024). Type-1 Fuzzy Sets and Fuzzy Logic.
12. Chrysafiadi, Konstantina. (2023). Fuzzy Logic.
13. Papakostas, Christos & Troussas, Christos & Sgouropoulou, C.. (2024). Fuzzy Logic for Modeling the Knowledge of Users in PARSAT AR Software.
14. Bashi, Abdullahi. (2024). Control System with Fuzzy Logic.
15. Singh, Balkeshwar & Mishra, Anil. (2023). Fuzzy Logic Control System and its Applications. 2395-0056.

**УДК 621.3  
ВОПРОСЫ ГЕРМЕТИЗАЦИИ  
И ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ  
ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ  
В БЕСПИЛОТНОЙ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКЕ**

**ISSUES OF SEALING AND  
THERMOREGULATION OF  
ELECTRONIC SYSTEMS IN UNMANNED  
AGRICULTURAL MACHINERY**

*Галиуллин И.Г., соискатель ученой степени кандидата наук, директор кадрово-ресурсного центра ИТ, ИИ и робототехники Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии; ORCID: 0000-0003-3583-3478; E-mail: isgaliullin@gmail.com;*  
*Чикрин Д.Е., д.т.н., директор Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии; ORCID: 0000-0003-1358-8184; E-mail: dmitry.kfu@ya.ru;*  
*Пашин Д.М., д.т.н., проректор по цифровой трансформации и инновационной деятельности, научный руководитель Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии; E-mail: dmitry.m.pashin@gmail.com;*  
*Кокунин П.А., к.т.н., и.о. заведующего кафедрой физики перспективных технологий и материаловедения Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии; ORCID: 0000-0002-3777-6414; E-mail: pkokunin@mail.ru;*  
*Тимершин Б.А., техник-программист сектора разработки встраиваемых систем научно-исследовательского центра «Центр превосходства «Специальная робототехника и искусственный интеллект» Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия; ORCID: 0009-0007-2574-2210; E-mail: btimershin99@gmail.com*

**Аннотация**

В рамках данной работы исследуются основные аспекты герметизации и терморегулирования в электронных устройствах, предназначенных для использования в беспилотной сельскохозяйственной технике. Осуществляется анализ факторов окружающей среды, влияющих на такие устройства, а также существующих методов защиты от них. В работе также рассматриваются новейшие технологии и разработки в этой области. Приводится пример практической реализации рассмотренных методов и технологий при разработке защитного корпуса для печатной платы устройства реального программно-аппаратного комплекса инерциальной навигационной системы, что является актуальным и важным в контексте построения систем автоматизации сельскохозяйственной техники.

*Galiullin I.G., applicant for the degree of Candidate of Sciences, director of the personnel resource center for IT, AI and robotics of the Institute of Artificial Intelligence, Robotics and Systems Engineering; ORCID: 0000-0003-3583-3478; E-mail: isgaliullin@gmail.com;*  
*Chikrin D.E., Doctor of Technical Sciences, director of the Institute of Artificial Intelligence, Robotics and Systems Engineering; ORCID: 0000-0003-1358-8184; E-mail: dmitry.kfu@ya.ru;*  
*Pashin D.M., Doctor of Technical Sciences, vice-rector for digital transformation and innovation, scientific director of the Institute of Artificial Intelligence, Robotics and Systems Engineering; E-mail: dmitry.m.pashin@gmail.com;*  
*Kokunin P.A., Ph.D., Acting Head of the Department of Physics of Advanced Technologies and Materials Science, Institute of Artificial Intelligence, Robotics and Systems Engineering; ORCID: 0000-0002-3777-6414; E-mail: pkokunin@mail.ru;*  
*Timershin B.A., Software Engineer, Embedded Systems Development Sector, Research Center of Excellence «Special Robotics and Artificial Intelligence», Institute of Computational Mathematics and Information Technology, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia; ORCID: 0009-0007-2574-2210; E-mail: btimershin99@gmail.com*

**Ключевые слова:** инерциальная навигация, герметизация, пылевлагозащищенность, терморегуляция, защита РЭИ, климатическая устойчивость, методы испытаний, беспилотная сельскохозяйственная техника

**Abstract**

In this paper, the main aspects of sealing and thermoregulation in electronic systems designed for unmanned agricultural machinery are investigated. An analysis of environmental factors affecting such devices, as well as existing methods of protection against them, is conducted. The study also examines the latest technologies and developments in this field. An example of the practical implementation of the discussed methods and technologies is provided in the development of a protective enclosure for the printed circuit board of a real hardware-software complex of an inertial navigation system. This is relevant and important in the context of building automation systems for agricultural machinery.

**Keywords:** inertial navigation, hermetically sealing, waterproofing, thermal regulation, radioelectronic devices protecting, resistance to exposure factors, environmental testing, unmanned agricultural machinery

*1. Введение*

При разработке беспилотной сельскохозяйственной техники не менее важно обеспечить защиту электронных систем от неблагоприятного воздействия окружающей среды. Достаточно остро данная проблема стоит в Российской Федерации, для территории которой характерны значительные максимальные годовые амплитуды температур, суточные и сезонные колебания, высокая интенсивность солнечного излучения летом и низкие температуры зимой, высокая обильность осадков (дождь, снег), возможность паводков и засух.

В связи с этим устройства уличного и носимого исполнения должны соответствовать достаточно высоким требованиям по пылевлагозащищенности, поддержанию температуры внутри корпуса устройства в пределах рабочего диапазона температур радиоэлектронных компонентов, устойчивости к резким сменам температур и солнечной радиации, устойчивости материалов корпуса к УФ-излучению, длительному нагреву, длительному воздействию низких температур (в частности, для полимерных материалов возможно размягчение под воздействием высоких температур и стеклование с последующим растрескиванием под воздействием низких температур).

Также должны соблюдаться определенные технологии сборки устройства в целях

исключения изменения среды внутри корпуса в процессе эксплуатации, способного привести к негативным последствиям для электронной части устройства, например, выпадения конденсата в случае понижения температуры окружающей среды при высокой влажности воздуха внутри корпуса устройства (в случае, если устройство герметизировано и непосредственно взаимодействует внутренней среды с внешней не происходит).

*2. Особенности проектирования устройства исходя из предъявленных требований*

В настоящей работе в качестве примера рассматривается корпус для опытного образца инерциальной сборки, представляющей собой миниатюрный электронный комплекс, в состав которого входит трехосный акселерометрический датчик, управляющее устройство и вспомогательные элементы.

Приведенный для примера защитный корпус разрабатывался исходя из нижеследующих требований.

*По защите от условий окружающей среды:*

– соответствие классу пылевлагозащищенности не ниже IP67 (ГОСТ 14254-96 [1]);

– класс климатического исполнения не ниже У1 (ГОСТ 15150-69 [2]);



– отсутствие деградации материалов корпуса под воздействием УФ-излучения, пиковых высоких и низких температур, характерных для климатических условий средней полосы России;

– устойчивость к механическим воздействиям (вибрация, удары по оболочке, падение, качка, изгиб, растяжение, кручение).

*По технологичности*

Для опытного образца устройства необходимо обеспечить доступ к печатной плате устройства в процессе испытаний для отладки и внесения изменений/исправлений, также должна быть обеспечена возможность неоднократной (частой) полной разборки и последующей полной сборки устройства без потери защитных свойств.

Наличие на корпусе диагностического разъема для возможности внесения изменений в ПО управляющего устройства и контроля состояния без разборки корпуса устройства.

Возможность быстрого изготовления различных вариантов прототипов.

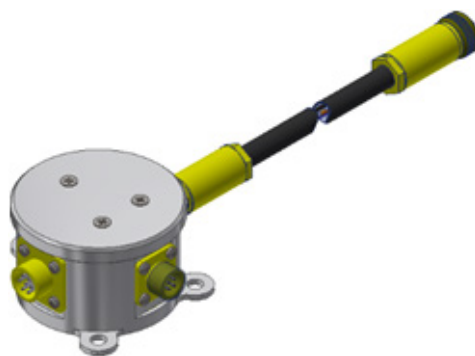
Ввиду миниатюризации размеров печатной платы и отсутствия на ней крепежных отверстий должна быть предусмотрена возможность ее фиксации внутри корпуса прижимным способом.

Требования, специфические для разрабатываемой системы.

Корпус устройства должен быть выполнен из металла для корректной передачи возмущающих воздействий на акселерометрический датчик.

Так как изначально необходимым требованием для нормального функционирования системы было использование металла в качестве материала корпуса, все опытные образцы, на которых испытывалась работа алгоритмов системы, были изготовлены из алюминия. Однако перед передачей конструкторской документации в производство были изготовлены макетные образцы методом послойного наплавления пластика (FDM-3D печать). Данная технология позволяет в сжатые сроки и с низкими затратами получить образцы, по которым можно оценить габаритные параметры изделия, проверить возможность установки электронной части устройства и разъемов в корпус и сборки устройства, выявить ошибки и исправить их до производства дорогостоящего металлического опытного образца.

В соответствии с приведенными требованиями был разработан корпус устройства для изготовления методом фрезерной обработки из алюминиевого сплава марки Д16Т (ГОСТ 4784-97) с последующим анодным оксидированием. Общий вид корпуса приведен на рис. 1.



*Рис. 1. Общий вид защитного корпуса разрабатываемого устройства*

Метод фрезерной обработки на станках с ЧПУ в сочетании с проектированием изделий в САД-системах позволяет быстро изготавливать прототипы высокого качества с малыми издержками на преобразова-

ния конструкторской документации в формат, пригодный для производства. Однако такой способ производства пригоден для изготовления единичных изделий, малых и больших партий, но имеет ограничения,

связанные с высокой стоимостью машинного времени и большого расхода материала.

Разработанный защитный корпус с незначительными доработками пригоден для массового производства методом литья под давлением, что экономически оправданно при производстве крупных партий изделий. Однако данный метод требует значительных экономических вложений и затрат времени на начальном этапе (изготовление литейной формы), на порядки превышающие стоимость изготовления единицы изделия методом фрезеровки при его относительной дороговизне, и непригоден на начальных этапах разработки, когда возможны внесения изменений в конструкцию. Переход на метод литья возможен только по окончании разработки и при проведении испытаний, когда существенные изменения в конструкцию вноситься не будут.

Корпус изделия состоит из основной оболочки, обеспечивающей защиту собственно печатной платы, обладающей высокой механической прочностью (толщина стенок – 5 мм в самом тонком месте, бобышки для крепежных винтов и площадки под разъемы в качестве ребер жесткости) и внешней тонкостенной оболочки, между основной и внешней оболочкой расположен слой теплоизоляционного материала (вспененный полиэтилен).

На корпусе имеются установочные площадки для вилок защищенных разъемов РСГ7 (на одной оси, для подключения к кабельной линии) и вилки разъема РСГ4 (диагностический разъем).

Печатная плата внутри корпуса устанавливается углами на уступах корпуса и прижимается упорными стержнями крышки корпуса. Корпус стягивается винтами.

### *3. Герметизация корпусов радиоэлектронных изделий (РЭИ)*

Реализация пылевлагозащиты платы может быть произведена различными способами, отличающимися по трудоемкости реализации и возможности последующей разборки.

Наиболее эффективным методом является заливка полости оболочки неэлектропроводным материалом с последующим его отверждением [3, гл. 9]. Данный способ герметизации является по сути созданием дополнительной плотно прилегающей к печатной плате оболочки, что исключает выпадение конденсата и попадание на плату влаги и пыли из внешней среды, но значительно затрудняет возможность разборки устройства без повреждений корпуса и печатной платы. Ввиду полной защищенности чувствительных к внешним воздействиям компонентов дополнительная герметизация защитного корпуса не требуется. Однако необходимо учитывать текучесть материала заливки и контролировать процесс заполнения, т.к. при высокой вязкости и/или скорости отвердевания труднодоступные места могут остаться незаполненными и, как следствие, незащищенными.

Также полную герметизацию корпуса устройства на уровне полной заливки полости оболочки дает сварка или пайка всех стыков и соединений, разборка в этом случае возможна, но трудоемка и затратна по времени, и добиться качества повторной сборки, сравнимого с первоначальным, как правило, не удастся.

Более удобной в эксплуатации является герметизация соединений посредством их замазки герметиками/компаундами, но при повторной сборке требуется восстановление защитного слоя, для чего может понадобиться полная очистка поверхности корпуса от остатков старого защитного покрытия.

Самым простым и удобным для частой разборки методом пылевлагозащиты является герметизация уплотнительными прокладками [3, гл. 7]. Вполне очевидно, что в таком случае прокладки должны быть установлены на всех соединениях и не должны иметь разрывов по своей длине. Для сохранения эластичности и защитных свойств прокладок рекомендуется при каж-

дой сборке смазывать их силиконовым герметиком. Необходимо также иметь в виду, что со временем некоторые материалы, используемые для изготовления уплотнительных прокладок, теряют эластичность, покрываются трещинами и теряют свои защитные свойства.

Для устройств, работающих в условиях перепадов температуры, требуется поддержание низкой влажности воздуха внутри оболочки во избежание выпадения конденсата. Этого можно добиться сборкой устройства в условиях пониженной влажности, обдувом сухим воздухом, использованием влагопоглотителей (силикагель). Обеспечение низкой влажности при сборке имеет смысл только при полной герметизации устройства; гранулы силикагеля при механических воздействиях могут раскрашиваться и образовывать пыль, которая может оседать на поверхности печатной платы и при насыщении влагой может выступать проводником.

Для дополнительной защиты печатной платы от влаги рекомендуется [4, 5] наносить на поверхность платы слой лака, в частности уретанового или акрилового, в аэрозольном либо жидком виде методом окунания, нанесения кистью или распылением. Также возможна полная или частичная заливка компаундами на основе смол, но их высокая толщина слоя и проч-

ность затрудняет доступ к элементам печатной платы при возникновении такой необходимости. Перед нанесением лака или компаунда поверхность платы необходимо обезжирить и очистить, в том числе от остатков флюсов, для обеспечения лучшей адгезии. Для отмывки плат можно использовать спирто-бензиновые растворы с использованием ПАВ [6], органические растворители либо специализированные средства. После отмывки рекомендуется промыть устройство деионизированной водой и высушить.

На примере разрабатываемого защитного корпуса прокладки круглого сечения установлены в местах соединения разъемов и корпуса (3 шт.), крышки и корпуса и в местах винтовых соединений (3 шт.). Диагностический разъем, который при функционировании системы не задействован, закрыт защитным пластиковым колпачком. Разъемы подключения к кабельной линии в процессе эксплуатации задействованы, незадействованный разъем оконечного устройства также закрыт колпачком. Печатная плата отмыта изопропиловым спиртом, высушена и покрыта акриловым лаком аэрозольным методом нанесения. Разнесенное изображение с изображением всех прокладок и колпачка приведено на рис. 2.

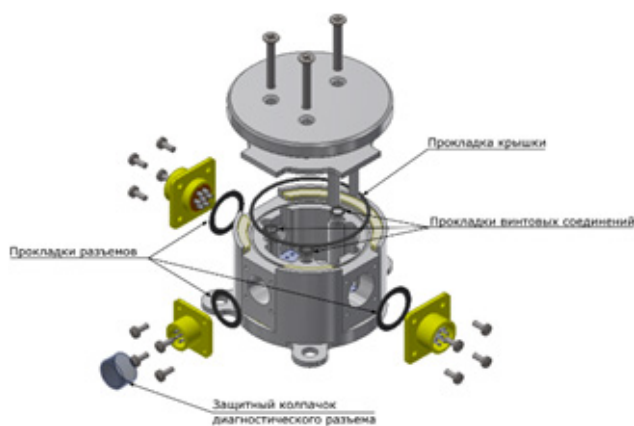


Рис. 2. Изображение уплотнительных прокладок и защитного колпачка

4. *Поддержание температуры в пределах рабочего диапазона температур компонентов платы (терморегулирование)*

Для проверки необходимости использования теплоизоляционных материалов и их подбора на этапе проектирования возможно произвести их моделирование непосредственно с помощью математического аппарата [7, гл. 6] либо с использованием специализированного ПО.

Современные программные средства теплового моделирования обладают широкими возможностями не только по моделированию печатных плат (что является их основной функциональностью), но и по заданию условий окружающей среды, материалов корпуса и их свойств, что позволяет промоделировать тепловой режим печатной платы (с учетом выделяемой элементами самой печатной платой теплоты) в любых требуемых условиях и проверить, что оно соответствует рабочему диапазону электронных компонентов, а также подобрать изоляционные материалы так, чтобы это соответствие достигалось. Данные среды изначально разрабатывались для оптимизации теплоотвода изделий и, соответственно, могут использоваться и для этого, а не только для расчета защиты от низких температур (что требуется для разрабатываемого изделия) [8, 9].

Для разрабатываемого устройства ввиду его высокой энергоэффективности можно не принимать во внимание перегрев, вы-

званный нагревом элементов собственно печатной платы. Однако устройство предназначено для использования на открытом воздухе, и существует необходимость поддержания температурного баланса внутри корпуса устройства в пределах допустимого диапазона температур (-40...+85°C для элементов текущей реализации платы устройства).

Как видно из приведенного рабочего диапазона, устройство хорошо перенесет перегрев при соответствии классу климатического исполнения У1 (предельные рабочие температуры -50...+40°C, с учетом нагрева корпуса прямыми солнечными лучами для металлического корпуса с теплоизоляцией -- -50...+50°C), но нижняя граница требуемого класса исполнения ниже минимальной рабочей температуры компонентов устройства. В связи с этим необходима дополнительная теплоизоляция корпуса. Излучаемой теплоты платы при наличии теплоизоляции достаточно для поддержания температурного баланса в пределах рабочего диапазона температур.

Для термоизоляции разрабатываемого устройства использовался вспененный полиэтилен в связи с его высокими теплоизоляционными качествами и простотой монтажа [10]. Слой теплоизоляции располагается между основным корпусом и внешней тонкостенной оболочкой. Изображение теплоизоляционных пластин приведено на рис. 3.

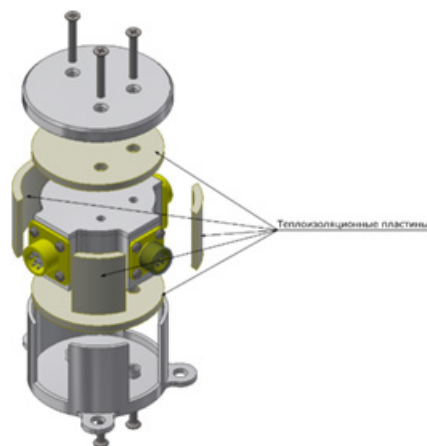


Рис. 3. Изображение теплоизоляционных пластин

На текущем этапе (НИР) разработки в части проектирования защитного корпуса ставится задача поддержания электронной части устройства в работоспособном состоянии при проведении стендовых и полевых испытаний для проверки правильности работы программного и аппаратного обеспечения системы. При этом не требуется функционирование устройства в течение длительного времени в сложных условиях, однако необходимо обеспечить возможность проведения полевых испытаний при любых условиях окружающей среды согласно требованиям.

В процессе проведения полевых испытаний помимо анализа работы системы в целом производится также наблюдение за устройствами в кабельной линии с целью определения недостатков конструкции в текущих условиях. Впоследствии на этапе ОКР планируется проведение теплового моделирования устройства в целом с помощью ПО теплового моделирования FloTHERM XT компании Mentor Graphics для различных условий среды и режимов работы электронной части устройства, в том числе трудновоспроизводимых на практике, с выявлением несоответствий требуемым температурным диапазонам и внесением по необходимости изменений в конструкцию защитного корпуса и печатной платы устройства.

##### *5. Испытания устройств на стойкость к внешним воздействиям*

Для проверки соответствия защитных характеристик разрабатываемого устройства актуальным на данный момент разработки требованиям по защищенности от внешних воздействующих факторов (далее – ВВФ) необходимо на каждом этапе разработки проводить испытания.

Перед началом промышленного производства необходимо провести испытания на соответствие требованиям, приведенным в техническом задании, в полном объеме, включая проверки на воздействие факторов, проявляющихся при длительной

эксплуатации (как правило, ускоренные, с искусственным изменением условий проведения испытаний для увеличения эффекта от воздействия внешних факторов).

Методика испытаний на соответствие устройства заявленному классу IP проводится в соответствии ГОСТ 14254-96. Описание рекомендуемых испытаний на устойчивость к ВВФ приводятся в ГОСТах серии 30630.X.X, разбиение по типам воздействий, общие рекомендации и требования к испытаниям приведены в ГОСТ 30630.0.0-99 [11]. ВВФ подразделяются на механические (ГОСТ 30630.1.X) и климатические (ГОСТ 30630.2.X).

Наиболее приоритетными для устройств личного исполнения являются испытания 201 (воздействие верхнего значения температуры среды при эксплуатации), 203 (воздействие нижнего значения температуры среды при эксплуатации), 205 (воздействие изменения температуры среды) ГОСТ 30630.2.1; 207, 208 (воздействие влажности) ГОСТ 30630.2.2; 211 (воздействие солнечного излучения) ГОСТ 30630.2.4; 212 (воздействие пыли и песка) ГОСТ 30630.2.7, 216-221 (воздействие воды) ГОСТ 30630.2.6, так как данным типам воздействий так или иначе подвержены все устройства данного класса исполнения.

На данном этапе разработки были проведены предварительные испытания на водозащищенность и устойчивость к воздействию температуры окружающей среды, т.к. влияние данных типов воздействий наиболее вероятно при проведении полевых испытаний системы и выход устройств из строя при их проведении под влиянием данных факторов неприемлем:

1) на водозащищенность в соответствии с ГОСТ 30630.2.6 согласно методикам испытаний:

- 217-1 (испытание на воздействие воды при кратковременном погружении);
- 218-1 (испытание на воздействие дождя);

– 219-1 (испытание на каплезащищенность);

– 220 (испытание на водозащищенность);

2) на устойчивость к воздействию температуры окружающей среды при проведении полевых испытаний (перед началом проведения испытаний при текущей температуре среды производится включение системы с одним устройством и проверка его работоспособности при перепаде температур от температуры транспортировки до уличной температуры и при работе в течении некоторого времени при уличной температуре).

Также ввиду особых требований по механической прочности устройства (устройство должно выдерживать воздействия, которыми сопровождается эксплуатация с/х техники – удары по корпусу, падения, воздействия вибрации, воздействие качки и наклонов, тряски) перед проведением испытаний системы были проведены предварительные испытания устройств на устойчивость к ударам, падениям и тряске с различной частотой с последующей проверкой их работоспособности.

Испытания на водозащищенность достаточно просты в проведении и не требуют больших затрат на организацию испытательного стенда (требуется дождевальная установка, достаточно простая и дешевая в изготовлении, и емкость, габариты которой достаточны для помещения испытываемого устройства целиком на требуемую глубину). Испытания на воздействие верхних и нижних предельных значений температуры требуют использования специального оборудования (нагревательная камера и камера холода) и на данном этапе работ не производились.

На этапе ОКР по готовности образца, готового к промышленному производству, планируется проведение полного комплекса испытаний по ГОСТ 30630.X.X и 14254 в соответствии с предъявленными требованиями.

#### *б. Результаты внедрения и экспериментальной проработки*

Конструкция герметичного корпуса, разработанного по приведенной выше методике с учетом представленных требований, была реализована в рамках НИР по созданию инерциальной навигационной системы для сельскохозяйственной техники (далее – ИНССТ).

Натурные (полевые) испытания ИНССТ проводились в соответствии с техническим заданием на НИР на открытом воздухе на различных типах техники для отработки алгоритмов программного обеспечения и проверки соответствия конструктивного решения требованиям технического задания.

Корпуса в рамках натуральных испытаний в составе ИНССТ подвергались действию климатических факторов – пониженной температуры до  $-20^{\circ}\text{C}$ , ветровой нагрузки, дождя, снега, выпадения росы и инея.

#### *Заключение*

В результате проведенной работы были изучены существующие методы водозащиты и теплоизоляции радиоэлектронных изделий. Были выбраны методы, обеспечивающие соответствие требованиям для условий эксплуатации изделия в беспилотной сельскохозяйственной технике. Также был разработан защитный корпус устройства с учетом данных требований и применением выбранных технологий.

Разработанный защитный корпус обеспечил надежную защиту электронной части устройства во время проведения предварительных испытаний на устойчивость к наиболее критическим воздействиям внешней среды, а также при стендовых и полевых испытаниях системы беспилотной сельскохозяйственной техники.

В перспективе, на этапе окончательного конструкторского решения, планируется дальнейшая работа над устройством с применением методов теплового моделирования и моделирования механических нагрузок (анализа напряжений, возникаю-

ших в деталях под воздействием внешних сил). Кроме того, будут проведены все необходимые испытания для подтверждения соответствия требованиям по защите от воздействия влаги, вибрации и ударов в контексте использования в беспилотной сельскохозяйственной технике.

Отмечается, что помимо рассмотренных в работе негативных воздействий на корпуса, возможны также и упругие резонансные колебания самих слоев корпуса механизма, которые при больших амплитудах

могут негативно повлиять на целостность конструкции. Условия возникновения собственных колебаний подобных слоистых конструкций рассмотрены, например, в [12, 13].

#### *Благодарность*

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета («Приоритет-2030»).

#### **Список литературы**

1. ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89). Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP).
2. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
3. Роздзял, П. Технология герметизации элементов РЭА / П. М. Роздзял. – Радио и связь, 1981. – 304 с.
4. Чуйкова, Л. Влагозащита радиоэлектронной аппаратуры / Л. Чуйкова // Компоненты и Технологии. – 2007. – №5. – С. 164-167.
5. Брянцева, И. Влагозащита печатных плат / И. Брянцева // Производство электроники: Технологии, оборудование, материалы. – 2010. – №2 – С. 39-41.
6. Медведев, А. Монтажные флюсы. Смыть или не смывать / А. Медведев // Компоненты и технологии. – 2001. – №4. – С. 96-98.
7. Дульнев, Г. Н. Методы расчета теплового режима приборов / Г. Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов. – Москва : Радио и Связь, 1990. – 312 с.
8. Попов, И. А. Теплоотдача и гидросопротивление профилированных труб с 2D и 3D шероховатостью при переходных режимах течения / И. А. Попов, А. В. Щелчков, М. З. Яркаев, Д. В. Рыжков, Р. А. Ульянова // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. № 16. – С. 56-59.
9. Габдрахманов, И. Р. Применение пластинчатых теплообменных аппаратов с поверхностными интенсификаторами теплоотдачи в системах «EGR» для улучшения экологических характеристик ДВС / И. Р. Габдрахманов, А. В. Щелчков, И. А. Попов, С. А. Исаев // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18. № 5. – С. 205-208.
10. Кулешов, И. В. Теплоизоляция из вспененных полимеров / И. В. Кулешов, Р. В. Торнер. – Москва : Стройиздат, 1987. – 144 с.
11. ГОСТ 30630.0.0-99. Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий.
12. Плещинская И. Е. О собственных колебаниях слоистого упругого композита / И. Е. Плещинская, Н. Б. Плещинский, Д. Н. Тумаков // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 18. – С. 111-115.
13. Плещинская, И. Е. О собственных колебаниях композита, зажатого между жесткой поверхностью и упругим полупространством / И. Е. Плещинская, К. Н. Стехина, Д. Н. Тумаков / Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – № 17. – С. 42-45.

УДК 624.21  
**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ  
 ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА  
 КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПУТЕПРОВОДАХ**

*Зиннуров Т.А., к.т.н., доцент, старший научный сотрудник кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань;  
 Email: leongar@mail.ru;  
 Кормильцев В.С., инженер 2 категории ООО «Градпрактика», г. Москва, Россия;  
 E-mail: vlad83674@gmail.com*

**IMPROVING ROAD SAFETY ON CURVED  
 OVERPASSES**

*Zinnurov T.A., Ph.D., Associate Professor, Senior Researcher, Department of Highways, Bridges and Tunnels, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan;  
 Email: leongar@mail.ru;  
 Kormiltsev V.S., 2nd category engineer, Gradpraktika LLC, Moscow, Russia;  
 E-mail: vlad83674@gmail.com*

**Аннотация**

Дорожно-транспортные происшествия на путепроводах – серьезная проблема, требующая немедленного внимания. В исследовании рассматриваются причины этих аварий. Особо отмечается, что эстакады с высокой степенью кривизны и сложной геометрией могут создавать «слепые зоны», где водители не могут видеть других участников дорожного движения, что приводит к увеличению числа аварий. Предлагаются различные решения, одно из которых включает в себя использование специальных устройств для улучшения видимости на эстакадах, сокращения количества «слепых зон».

Цель исследования – предложить пути снижения аварийности на путепроводах. В задачи исследования входит изучение истории и причин ДТП на путепроводах в Казани, измерение основных геометрических характеристик вертикальной кривой выбранных путепроводов и разработка системы активного регулирования движения на путепроводах на основе анализа видимости. Представлена подробная методология, включающая уравнения, для расчета таких параметров, как дальность видимости, время реакции и безопасный тормозной путь. В исследовании проведен анализ выбранных путепроводов в Казани с подробной разбивкой аварий за последние пять лет.

В исследовании предлагается решение проблемы «слепых зон», что включает в себя устройство, которое предупреждает водителей о дорожных препятствиях в условиях ограниченной видимости или в районах с плохой видимостью из-за стесненных условий. Устройство состоит из двух основных компонентов: датчиков слежения и световых индикаторов предупреждения. Обсуждается оптимальное размещение этих компонентов на каждом путепроводе.

**Ключевые слова:** дорожно-транспортные происшествия, путепровод, слепая зона, безопасность движения, видимость, система активного регулирования движения, устройство предупреждения

**Abstract**

The study discusses the reasons behind these accidents. The text mentions that overpasses with high degrees of curvature and complex geometry can create «blind zones» where drivers can't see other road users, leading to more accidents. Various solutions are suggested, one of which includes the use of specific devices to improve visibility on overpasses, reducing the number of «blind zones».

The research aims to propose ways to reduce accidents on overpasses. The study tasks include studying the history and causes of RTAs on overpasses in Kazan, measuring the main geometric characteristics of the vertical curve of selected overpasses, and proposing a system of active traffic regulation for overpasses based on visibility analysis. The author also presents



a detailed methodology, including equations, to calculate parameters like visibility distance, reaction time, and safe stopping distance. The study conducts an extensive analysis of selected overpasses in Kazan, with a detailed breakdown of accidents over the past five years.

Finally, the study proposes a solution to the «blind zones» problem. This includes a device that warns drivers about road obstructions, especially useful in conditions of limited visibility or in areas with poor visibility due to constricted conditions. The device comprises two main components: tracking sensors and light warning indicators. The optimal placement of these components on each overpass is discussed.

**Keywords:** road traffic accidents, overpasses, blind zones, traffic safety, visibility, active traffic regulation system, warning device

### 1. Введение

Дорожно-транспортные происшествия (далее – ДТП) на путепроводах представляют собой серьезную проблему, требующую незамедлительного решения. Статистика показывает, что в слепых зонах путепроводов происходит большое количество аварий.

Путепроводы с высокой степенью кривизны и сложной геометрией могут создавать «слепые зоны», в которых водители не могут видеть других участников движения. Это может привести к увеличению числа дорожно-транспортных происшествий [1]. Видимость на автомобильной дороге является важным условием безопасности на дороге. Основная информация для водителя поступает через зрительный канал (до 95%). Зона видимости водителя зависит от дорожных условий и скорости движения автомобиля [2].

Бабков В.Ф. в своей работе считает, что «слепые зоны» на дорогах – это участки, которые из-за особенностей ландшафта, геометрии дороги или других причин не видны водителю [3]. Они представляют собой значительную проблему на путепроводах, где они образуются из-за резкой вертикальной геометрии путепроводов. В городской среде и стеснённых условиях застройки вертикальные кривые на путепроводах стараются проектировать с минимально допустимыми параметрами геометрии, обеспечивающими видимость для проектной скорости, а иногда эта скорость пассивными методами ограничивается в пределах опасных участков.

Существуют различные подходы к решению этой проблемы. Один из них – это использование специальных устройств, систем активного регулирования дорожного движения, которые могут улучшить видимость на путепроводах, уменьшая количество «слепых зон». Это может помочь снизить количество ДТП на путепроводах [4].

Цель исследования – предложить пути снижения аварийности на криволинейных путепроводах. В рамках исследования стоят следующие задачи: изучить историю и причины ДТП на путепроводах в г. Казани, измерить основные геометрические характеристики вертикальной кривой выбранных путепроводов, предложить систему активного регулирования движения для путепроводов, основанную на результатах анализа видимости.

### 2. Методика

В процессе проектирования красной линии продольного профиля дорог и путепроводов используются прямые сопрягаемыми кривыми, уклон которых изменяется по определенному закону. Как правило, для упрощения расчета сопряжений используются параболические кривые [5]. Координаты таких кривых, располагая место нуля системы координат в месте нуля кривой, могут быть описаны уравнением:

$$y = \pm \frac{x^2}{2 \cdot R} \quad (1)$$

где  $x$  – это горизонтальные координаты точки проектной линии, м;  $R$  – радиус вертикальной кривой

Радиус вертикальной кривой  $R$  принимают из условия обеспечения видимости

длиной  $L$  с высоты глаз водителя автомобиля  $a_1=1.0$  м над поверхностью проезжей части препятствия на высоте  $a_2=0.2$  м над поверхностью дороги рис. 1 [5].

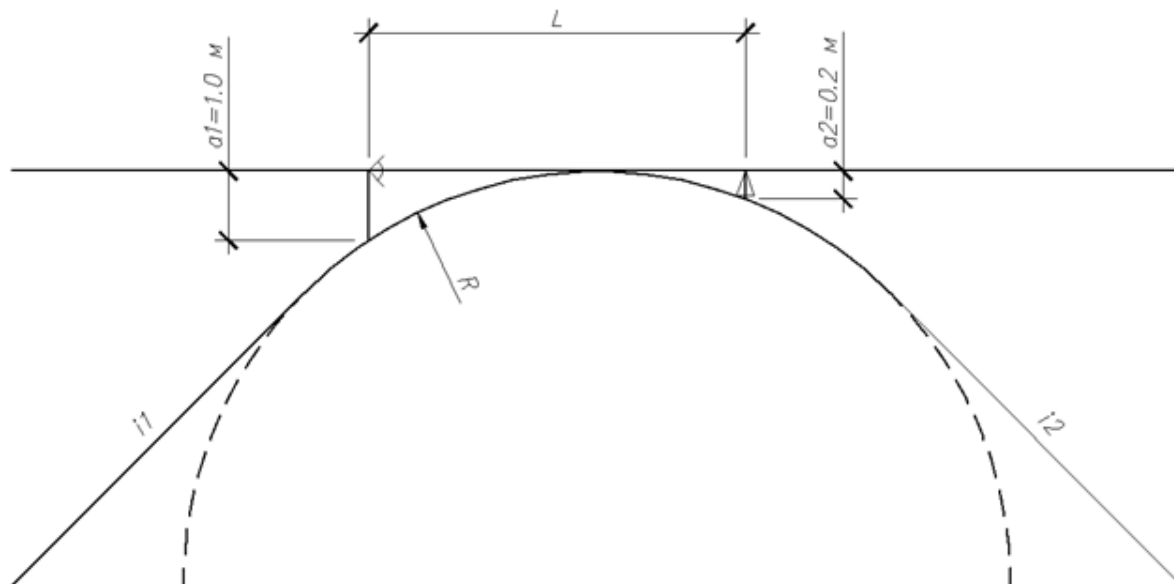


Рис. 1. Схема к расчету радиуса вертикальной выпуклой кривой

Геометрия продольного профиля дороги должна обеспечить водителю видимость на расстояние, необходимое для безопасной остановки перед препятствием [6]. Такое расстояние можно определить по формуле:

$$s = \frac{t_p \cdot V}{3.6} + \frac{K_y \cdot V^2}{254 \cdot (\varphi \pm i)} + d \quad (2)$$

где  $S$  - расчетное расстояние видимости покрытия проезжей части;  $V_p$  - расчетная скорость движения, км/ч;  $K_y$  - коэффициент, учитывающий эксплуатационное состояние автомобиля  $>1.4$ ;  $\varphi$  - коэффициент продольного сцепления, принимаемый 0.3;  $i$  - продольный уклон в % (усредненные значения продольных уклонов, которые определяются по отдельным участкам);  $t_p$  - расчетное время реакции водителя в сек., принимаемое в 2.5 сек, для дорог I категории и 2.0 сек. для дорог II категории.  $d$  - запас для психологически безопасной остановки, принимаемый 5 м.

Несмотря на существование формул, ко-

торые позволяют определить минимальное обеспеченное на ней расстояние видимости, в рамках автоматизации выполняемой работы была разработана программа, позволяющая оценить не только этот параметр, но и скорость изменения расстояния видимости, что позволяет дать точную оценку данному параметру для наблюдателя, проезжающего в любой точке вертикальной кривой [7].

Программа работает на языке программирования JavaScript, а её интерфейс реализован на языке HTML. Указывая начальные параметры вертикальной кривой, такие как уклоны в начале и конце кривой, а также радиус вертикальной кривой, программа выводит графики, как показано на рис. 6-7.

### 3. Результаты и обсуждение

Для дальнейшего исследования выбраны следующие путепроводы Казани: путепровод №1 – по Оренбургскому тракту на пересечении с проспектом Победы (рис. 2), путепровод №2 – по проспек-

ту Универсиады на пересечении с улицей Танковая, развязка на Танковом кольце (рис. 3), путепровод №3 – по проспекту Универсиады на пересечении с улицей

Даурская (рис. 4), путепровод №4 – по проспекту Победы на пересечении с улицей Аграрная и Мамадышским трактом (рис. 5).



*Рис. 2. Путепровод № 1 на транспортной развязке на пересечении проспекта Победы и Оренбургского тракта*



*Рис. 3. Путепровод № 2 по проспекту Универсиады на пересечении с улицей Танковая, развязка на Танковом кольце*



*Рис. 4. Путепровод № 3 по проспекту Универсиады на пересечении с улицей Даурская*



Рис. 5. Путепровод №4 по проспекту Победы на пересечении с улицами Аграрная и Мамадышским трактом

Согласно данным из источника «Карта ДТП» [8] за последние 5 лет, на этих путепроводах произошло 27 зафиксированных ДТП. Как показывает статистика, это могут быть неполные данные, фактически аварий

могло быть больше, только геометки были выставлены не в те места или аварии просто не фиксировались. Результаты анализа ДТП на рассматриваемых путепроводах занесены в табл. 1.

Таблица 1

Данные аварийности на выбранных путепроводах

Название	Количество зафиксированных аварий, ед.		Соотношение числа аварий*, %	Характер аварий	Основные причины
	Всего	В «слепой зоне»			
Путепровод №1	12	7	58	Столкновение, наезд на пешехода	Превышение скорости, плохая видимость
Путепровод №2	10	6	60	Столкновение, наезд на стоящее ТС, наезд на препятствие	Нарушение ПДД, погодные условия
Путепровод №3	6	5	83	Столкновение, наезд на стоящее ТС	Нарушение ПДД, превышение скорости, недостаточное освещение
Путепровод №4	25	7	28	Столкновение, наезд на стоящее ТС, опрокидывание	Нарушение ПДД, превышение скорости
* – соотношение числа аварий, приходящихся на слепые зоны и общего числа аварий на путепроводе					

Анализируя места расположения всех указанных в источнике аварий [8] на путепроводах №1-3, можно выделить, что 65% аварий происходят на съездах с путепроводов, на участке движения «вниз». Причиной высокого уровня аварийности можно считать образование «слепой зоны».

У водителей, заезжающих на путепровод, может не быть достаточной информации о дорожной ситуации, происходящей в конце путепровода, в «слепой зоне», вследствие чего водитель не успевает среагировать. Путепровод №4 – более опасный с точки зрения появления ДТП, но из-за отсутствия на нём больших уклонов на подходах большинство аварий располагается

на съездах. Для изучения выбранных путепроводов (№1 – №3) и получения исходных данных их геометрии проведены замеры продольных уклонов дороги на всём протяжении изучаемых вертикальных кривых.

Анализируя полученные данные с помощью разработанной программы, получили геометрию, которую с небольшой погрешностью (не более 0,1 м) можно описать стандартными параболическими вертикальными кривыми [6], вписанными в угол со следующими полученными основными параметрами, характеристики даны по движению с юга на север, занесены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры вертикальных кривых выбранных путепроводов

Название	Уклон в начале кривой	Уклон в конце кривой	Радиус вертикальной кривой	Высота, м	Длина, м
Путепровод №1	52%	23%	5300 м	6,9	370
Путепровод №2	73%	61%	3000 м	762	520
Путепровод №3	56%	52%	3700 м	866	390

По полученным данным в программе получили геометрию вертикальных кривых (рис. 6), а также график расстояний

видимости для каждой точки вертикальной кривой (рис. 7).

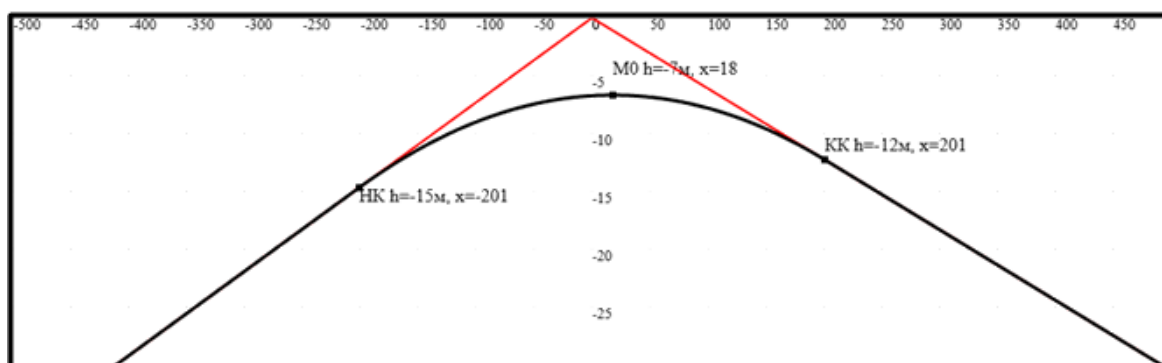


Рис. 6. График профиля на путепроводе №2 в разработанной программе (по оси абсцисс – расстояние от вершины угла перелома, в метрах; по оси ординат – высота точки поверхности дороги от вершины угла перелома)

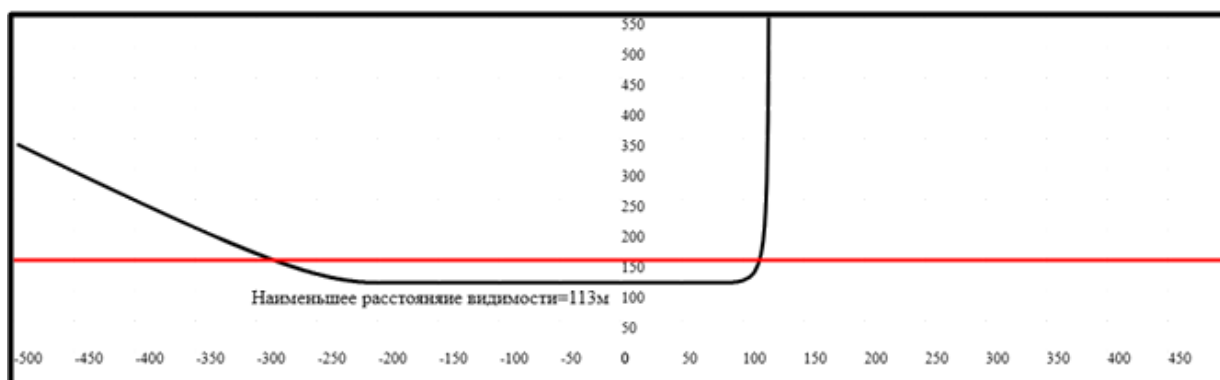


Рис. 7. Графики расстояний видимости на вертикальной кривой путепровода №2 (по оси абсцисс – расстояние от вершины угла перелома, в метрах; по оси ординат – обеспечиваемое расстояние видимости вперед, м; красная линия – принимаемое необходимое расстояние видимости, равное 150 м, черная линия – фактическая видимость)

Анализируя полученные данные из рис. 7, понимаем, что на самых неблагоприятных участках пути обеспечивается видимость всего на расстояния 150, 116 и 126 метров для вертикальных кривых на путепроводах №1, №2 и №3 соответственно. Выясним, для какой расчетной скорости движения автомобиля данное расстояние видимости обеспечивает возможность безопасной остановки перед препятствием.

Применяя формулу (1) для вычисления минимального расстояния видимости по

крытия проезжей части по условию остановки перед препятствием в зависимости от расчетной скорости и продольного уклона, можно вычислить допустимую скорость движения автомобиля, но решим задачу от обратного, находя значение скорости  $V$ , в зависимости от расстояния  $S$ . Получим два значения скорости нормативные, с коэффициентами  $K_s=1,4$ ,  $t_p=2,5$ ,  $\varphi=0,4$ , а также расчетные (наихудшие условия)  $K_s=1,6$ ,  $t_p=3,0$ ,  $\varphi=0,35$ , результаты расчета зафиксированы в табл. 3.

Таблица 3

**Расчетные скорости движения на путепроводах**

Название	Допустимая скорость движения автомобилей расчетная/нормативная, км/ч	
	направление 1	направление 2
Путепровод №1	69/90	72/92
Путепровод №2	58/74	59/75
Путепровод №3	62/79	63/80

С сайта «RadarBase.Info» [10] получена информация, что на рассматриваемых путепроводах установлено ограничение скорости в 60 км/ч. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что геометрия соответствует нормативам. Если рассматривать расчетные показатели и не штрафовать порог превышения скорости в 19 км/ч, чем с охотой пользуется большинство водителей, тогда условия движе-

ния становятся опасными. Заметим, что ухудшение погодных условий увеличивает риски аварии в двойном размере, поскольку оно не только ухудшает видимость, но и снижает сцепление дорогой, следовательно, и ускорение торможения [11].

Для решения проблемы «слепых зон» предлагаем устройство, которое будет предупреждать водителей транспортных средств о препятствиях на дороге. Это

устройство будет особенно полезно в условиях ограниченной видимости, например, при плохой погоде, тумане или ночных условиях, а также на участках дорог с плохой видимостью из-за стеснённых условий. Такое устройство поможет водителям заблаговременно определить наличие препятствий, стоящие на месте по тем или иным причинам или медленно движущиеся автомобили, которые могут повлиять на безопасность движения.

Принципиальная конструкция устройства состоит в наличии двух основных компонентов. Это датчики слежения, отслеживающие положение и скорость автомобилей, находящихся в слепой зоне, а также световые индикаторы оповещения, располагаемые перед ней. Устройства располагаются на всём протяжении определенного участка вертикальной кривой вдоль обочины на столбах освещения. Анализ расстояний видимости для каждой точки вертикальной кривой проводился для определения оптимальных мест расположения этих компонентов в каждом уникальном случае вертикальной кривой (рис. 10).

Принцип работы устройства:

- датчики отслеживания автомобилей постоянно отслеживают проезжающие мимо них автомобили;
- на контроллер посылается сигнал, если обнаруживается автомобиль со скоростью меньше установленной  $v_{опасн.}$ ;
- на контроллер посылается сигнал, если время проезда авто между двумя соседними датчиками будет больше  $t_{слеж.}$ ;
- контроллер обрабатывает сигнал и включает компонент оповещения.

Для оценки необходимого числа таких датчиков, скорости отслеживания  $v_{опасн.}$  и шага между ними, для начала можно воспользоваться формулой, это видоизмененная формула 3:

$$S^* = t_p \cdot V_p + K_3 \cdot \frac{V_p^2 - v_{опасн.}^2}{254(\varphi \pm i)} \quad (3)$$

где:  $S^*$  – рассчитанное минимальное расстояние видимости покрытия проезжей части, принимаем по программе;  $V_p$  – расчетная скорость движения, км/ч;  $K_3$  – коэффициент, учитывающий эксплуатационное состояние автомобиля  $> 1,1$ ;  $\varphi$  – коэффициент продольного сцепления, принимаемый 0,3;  $i$  – продольный уклон в промилях (усредненные значения продольных уклонов, которые определяются по отдельным участкам);  $t_p$  – расчетное время реакции водителя в сек., принимаемое в 2,5 сек, для дорог I категория и 2,0 сек. для дорог II категории;  $d$  – запас для психологически безопасной остановки, примем. 5 м;  $v_{опасн.}$  – скорость, движение с которой вызывает срабатывание системы оповещения, км/ч.

Решив полученное линейное уравнение второй степени для переменной  $v_{опасн.}$ , получим скорость, при движении с которой, находясь в опасном участке «слепой зоны», автомобиль создаёт опасность аварийной ситуации для следующего за ним автомобиля. Можно составить диаграмму зависимости искомой скорости от расстояния видимости при различных расчетных скоростях: (рис.8)

Дальше, исходя из известной опасной скорости  $v_{опасн.}$ , при движении с которой сработает система оповещения, получим максимальное время реакции компонента слежения:

$$t_{слеж.} = \frac{l_{слеж.} * 3.6}{v_{опасн.}} \quad (4)$$

где:  $t_{слеж.}$  - время реакции компонента слежения, с;  $l_{слеж.}$  - расстояние между датчиками, задаётся им сами, принимаем равным расстоянию между существующими столбами освещения;  $v_{опасн.}$  - скорость, движение с которой вызывает срабатывание системы оповещения, км/ч.

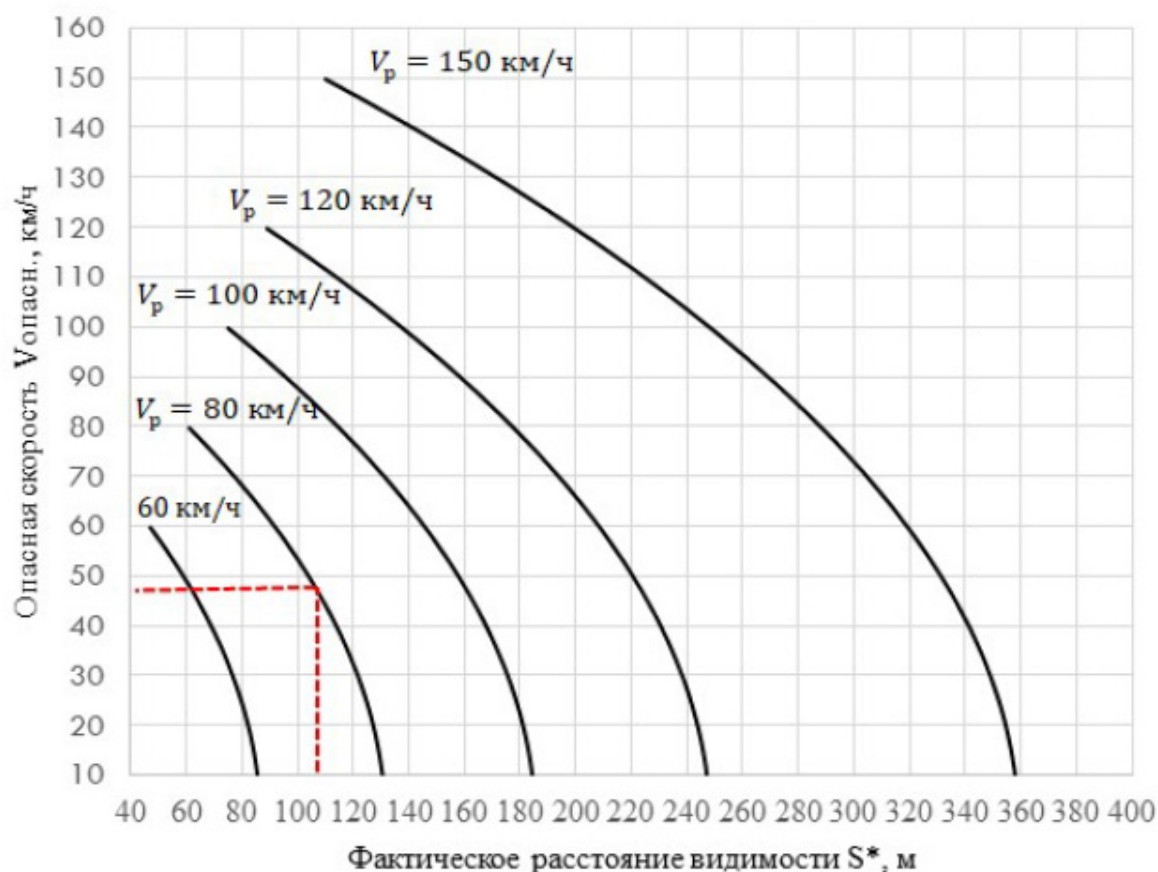


Рис. 8. Диаграмма зависимости искомой скорости  $v_{\text{опасн.}}$  от расстояния видимости при различных расчетных скоростях

Таким образом, конструкция устройства бах освещения представлена на рис. 9. с расположением её компонентов на стол-

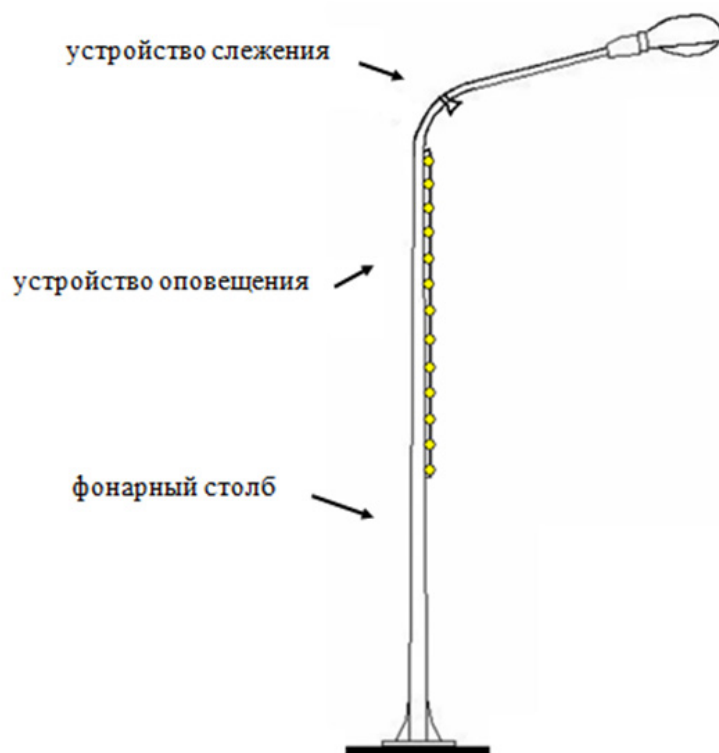


Рис. 9. Расположение компонентов устройства на столбах



В нормальном режиме автомобили движутся с установленной скоростью, безопасность движения с которой не обеспечивается видимостью самой кривой, при обнаружении риска столкновения в месте расположения медленно движущегося автомобиля загорается светодиодная лента, сигнализирующая всем участникам дорожного движения о необходимости снизить скорость.

За счёт расположения световых приборов на возвышенности, на столбе на высоте  $h_{опов.}$  метров, принимаем приблизительно высоту середины световой ленты 8 метров, по рис. 9 высота препятствия  $a_2$  становится равной  $h_{опов.}$

В разработанной программе можно рассчитать видимость объекта на такой высоте, оценить, с какого расстояния её будет видно, фактически увеличиваться расстояние видимости, ведь водитель будет иметь необходимую ему информацию о транспортном потоке и характере его движения с большей дистанции.

Либо же найден при помощи разработанной программы, её интерфейс позволяет получить график видимости не только для препятствий на высоте 0,2 м от уровня поверхности дороги, но и для объекта, расположенного на любой другой высоте.

Расстояние, требуемое на остановку при срабатывании устройства, вычисляем по видоизмененной формуле 2, добавляя время компонента слежения  $t_{слеж.}$ ;

$$S_{устр.} = \frac{(t_p + t_{слеж.}) * V_p}{3.6} + \frac{K_3 * V_p^2}{254(\varphi \pm i)} + d,$$

где:  $S_{устр.}$  - расстояние, требуемое для остановки при срабатывании устройства;  $V_p$  - расчетная скорость движения, км/ч;  $K_3$  - коэффициент, учитывающий эксплуатационное состояние автомобиля  $>1.1$ ;  $\varphi$  - коэффициент продольного сцепления, принимаемый 0.3;  $i$  - продольный уклон в профилях;  $t_p$  - расчетное время реакции водителя в сек., принимаемое в 2.5 сек,

для дорог I категория и 2.0 сек. для дорог II категории;  $d$  - запас для психологически безопасной остановки, примим. 5 м; Расстояние видимости световых индикаторов  $S_{опов.}$  должно быть больше расстояния, требуемого для остановки при срабатывании устройства  $S_{устр.}$ :

$$S_{опов.} > S_{устр.} \quad (6)$$

При использовании в качестве устройства оповещения плохо различимых на дальней дистанции световых приборов, с целью увеличения  $S_{опов.}$ , при срабатывании датчиков отслеживания, сигнал от них может передаваться в том числе и соседним лампам на определенном участке, например длиной, равной расчётному минимальному расстоянию видимости, для расчетной скорости, расположенным против хода движения потока.

Приведем пример оптимального расположения компонентов устройства на примере путепровода №2 (рис. 10). Необходимое расстояние видимости 150 м, что соответствует расчетной скорости 60 км/ч. Анализируя график расстояний видимости, можно выделить зону с интервала - 276 м. 115 м, в которой расстояние видимости меньше необходимого. Датчиками слежения, расставленными вдоль разделительной полосы с шагом 20 м, отслеживают трафик транспортных средств, в обобщенном виде всё фиксируемые параметры сводятся к определению времени, за которое автомобиль, движущийся в одной полосе, последовательно пересекает два подряд идущих датчика, тем самым определяя его скорость. В случае, если скорость оказывается ниже пороговой в 30 км/ч, или же автомобиль не пересекает 20-метровый отрезок в течение 2 секунд, включается компонент оповещения. Оповещение в данном случае предлагается выполнить в виде светодиодных фонарей в виде ленты, располагаемых на фонарях освещения, как представлено в патенте [13], такие ленты могут быть замечены на большом расстоянии.

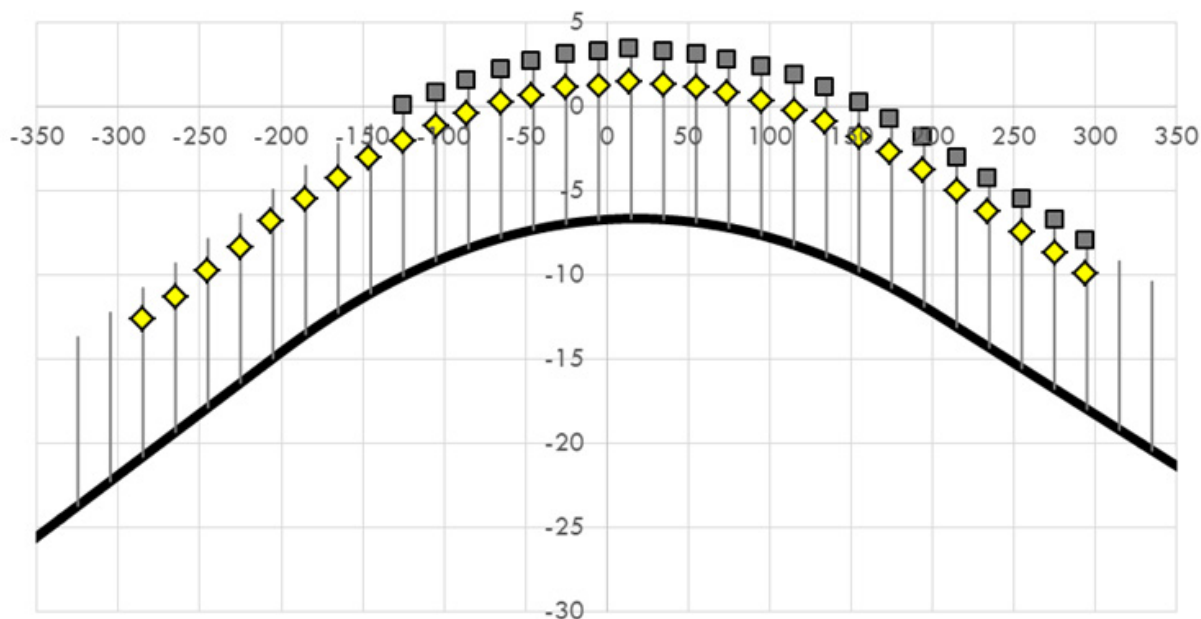


Рис. 10. Пример расстановки компонентов устройства на путепроводе № 2 (А – устройства слежения, Б – световые индикаторы оповещения)

#### 4. Заключение

В ходе исследования была выявлена серьезная причина ДТП, особенно актуальная для криволинейных в профиле путепроводов. «Слепые зоны», возникающие из-за сложной геометрии и высокой степени кривизны путепроводов, становятся причиной многих аварий, поскольку водители не могут в полной мере оценивать дорожную ситуацию.

В рамках исследования было предложено решение для устранения «слепых зон» и повышения безопасности на дорогах. Одно из ключевых условий – использование специальных устройств, включающих датчики слежения и световые индикаторы предупреждения, которые помогут водителям вовремя заметить дорожные пре-

пятствия в «слепых зонах» путепровода. Также важным результатом исследования является разработка системы активного регулирования движения на путепроводах на основе анализа видимости. Применение этой системы позволит существенно повысить безопасность движения по путепроводам.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что все вышеуказанные решения и подходы требуют дальнейшего изучения и применения не только в Казани, но и в других городах и странах, где проблема ДТП на путепроводах остается актуальной. Прделанная работа является важным шагом на пути к устранению «слепых зон» и снижению количества дорожно-транспортных происшествий на путепроводах.

#### Список литературы

1. Работяга, М. Т. Моделирование движения транспортных потоков в пределах вертикальных кривых автомобильных дорог / М. Т. Работяга // Тр. / МАДИ. Вып. 180. – 1979. – С. 82-89.
2. Бургонутдинов, А. М. Дорожные условия и безопасность движения: учеб. пособие / А. М. Бургонутдинов, В. С. Юшков, Б. С. Юшков, О. А. Косолапов. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 226 с.
3. Бабков, В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В. Ф. Бабков. – Москва : Транспорт, 1982. – 288 с.

4. Кареева, Ю. Р. Организация дорожного движения вблизи образовательных учреждений / Ю. Р. Кареева, Р. В. Николаева // Известия КГАСУ, 2023. – № 4 (66). – С. 310-317.
5. Антонов, Н. М. Проектирование и разбивка вертикальных кривых на автомобильных дорогах / Н. М. Антонов, Н. А. Боровков, Н. Н. Бычков, Ю. Н. Фриц. – Москва : Транспорт, 1968. – 200 с.
6. Антонов, Н. М. Проектирование и разбивка вертикальных кривых на автомобильных дорогах. Описание и таблицы / Н. М. Антонов, Н. А. Боровков, Н. Н. Бычков, Ю. Н. Фриц. – Москва : Транспортная компания, 2016. – 200 с.
7. Нурмухаметов, К. А. Алгоритм принятых решений в системе управления региональными мостами / К. А. Нурмухаметов, Т. А. Зиннуров, Д. М. Садыков // Известия КГАСУ. – 2019. – Т. 49, № 3. – С. 212-220.
8. Карта ДТП // Карта ДТП URL: <https://dtp-stat.ru/> (дата обращения: 25.05.2024).
9. Булдаков, С. И. Проектирование основных элементов автомобильных дорог: учеб. пособие / С. И. Булдаков. – Екатеринбург : Уральский государственный лесотехнический университет, 2011. – 295 с.
10. Карта радаров // RadarBase – URL: <https://radarbase.info/map/actual/55/49> (дата обращения: 25.05.2024).
11. Справочник по безопасности дорожного движения (справочное пособие). – Москва : РОСАВТОДОР, 2010. – 384 с.
12. Зиннуров, Т. А. Формирование безопасной среды для пешеходов на примере транспортно-пересадочного узла в г. Казани / Т. А. Зиннуров, Н. Н. Гончарова // Вестник НЦБЖД. – 2022. – № 4 (54). – С. 86-95.
13. Патент № 2 676 593 Российская федерация, МПК G08G 1/095. Способ дополнительной индикации и управления движением: № 2017121815: заявл. 21.06.2017 : опубл. 09.01.2019 / Общество с ограниченной ответственностью «СпецДорПроект» (RU) – 20 с.

**УДК 656****РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ  
В ГОРОДАХ**

*Кайс Кайс Абдулрахман Али, председатель  
отдела гражданского строительства  
Йеменского профсоюза инженеров, г. Сана,  
Йеменская Республика;  
Хузиахметова К.Р., ассистент кафедры  
цифровых дорожных технологий;  
ORCID: 0000-0001-5313-3147;  
E-mail: karina261996@mail.ru;  
Гатин М.Р., студент;  
E-mail: maratonoff@gmail.com;  
Мавлиев Л.Ф., к.т.н., доцент, заведующий  
кафедрой цифровых дорожных технологий  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный  
архитектурно-строительный университет»,  
г. Казань, Россия;  
ORCID: 0000-0001-6301-0941;  
E-mail: lenarmavliev@yandex.ru*

**DEVELOPMENT OF INTELLIGENT  
TRANSPORT SYSTEMS IN CITIES**

*Qais Abdulrahman Ali Qais, Head of Civil  
Engineering Department, Yemen Engineers  
Syndicate, Sana'a, Republic of Yemen;  
Khuziakmetova K.R., Assistant of the  
Department of Digital Road Technologies;  
ORCID: 0000-0001-5313-3147;  
E-mail: karina261996@mail.ru;  
Gatin M.R., student;  
E-mail: maratonoff@gmail.com;  
Mavliev L.F., Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor, Head of the Department  
of Digital Road Technologies of Kazan State  
University of Architecture and Civil Engineering,  
Kazan, Russia;  
ORCID: 0000-0001-6301-0941;  
E-mail: lenarmavliev@yandex.ru*

**Аннотация**

Представлен обзор процесса развития технологии интеллектуальных транспортных

систем. Затронуты некоторые вопросы зарубежного и отечественного опыта в реализации интеллектуальных транспортных систем. Зарубежные страны, такие как США, Германия, Япония и Китай, активно внедряют ИТС для улучшения транспортной инфраструктуры, снижения транспортных пробок, уменьшения выбросов и повышения безопасности на дорогах. В то же время, отечественный опыт внедрения ИТС также имеет свои особенности. Российские города внедряют системы мониторинга транспорта, электронных билетов, а также управления светофорами и дорожным движением. Опыт отечественных разработчиков и специалистов в области ИТС также играет важную роль в развитии этой технологии. Благодаря изучению зарубежного опыта и адаптации его к местным условиям можно создать эффективные и инновационные решения для улучшения транспортной системы в любой стране.

**Ключевые слова:** интеллектуальная транспортная система, Интернет вещей, искусственный интеллект, умный город, цифровые системы

#### Abstract

An overview of the development of intelligent transport systems technology is presented. Some issues of foreign and domestic experience in the implementation of intelligent transport systems are touched upon. Foreign countries such as the United States, Germany, Japan and China are actively implementing ITS to improve transport infrastructure, reduce traffic jams, reduce emissions and improve road safety. At the same time, domestic experience in implementing ITS also has its own characteristics. Russian cities are implementing transport monitoring systems, electronic tickets, as well as traffic light and traffic control. The experience of domestic developers and specialists in the field of ITS also plays an important role in the development of this technology. By studying foreign experience and adapting it to local conditions, it is possible to create effective and innovative solutions to improve the transport system in any country.

**Keywords:** intelligent transport system, internet of things, artificial intelligence, smart city, digital systems

ИТС сочетает в себе усовершенствования в области информационных технологий и систем, коммуникаций, датчиков, контроллеров и передовых математических методов с традиционным миром транспортной инфраструктуры [1]. За последние несколько десятилетий ИТС были разработаны и внедрены для повышения безопасности и мобильности движения, снижения воздействия на окружающую среду, развития устойчивого транспорта и повышения производительности [2].

Ускорение темпов урбанизации и стремительный рост числа автомобилей привели к тому, что проблемы городских пробок становятся все более серьезными, часто происходят дорожно-транспортные происшествия, усугубляется шумовое загрязнение и загрязнение воздуха. Эти проблемы серьезно подорвали пропускную способность городских дорог и эффективность их

эксплуатации [3]. В этих условиях города начали активно строить ИТС.

Преимущества ИТС проявляются в нескольких аспектах:

1. Объединяет такие информационные технологии, как Интернет вещей (Internet of Things, IoT), облачные вычисления, технологии больших данных (Big Data Technology, BDT) и мобильный Интернет, для создания интеллектуальной системы диспетчеризации движения. Услуги по организации дорожного движения в режиме реального времени предоставляются путем сбора и обработки информации о дорожном движении с помощью информационных технологий [4].

2. ИТС укрепляет связь и взаимодействие между людьми, транспортными средствами, дорогами и окружающей средой, улучшая пропускную способность дорог, снижая количество ДТП, повышая

эффективность и безопасность перевозок за счет уменьшения заторов и снижения уровня загрязнения [5].

3. ИТС в полной мере использует информацию о дорожном движении в качестве прикладной услуги, что может повысить эффективность работы существующих дорожных объектов [6]. Несомненно, интеллектуальный транспорт будет иметь широкие рыночные возможности в будущем [7].

С одной стороны, в городах разных стран наблюдается повсеместная перегруженность дорог и дисбаланс между спросом и предложением транспорта. Противоречие между городом, населением и транспортом стало еще более заметным, что создает почву для организации и развития ИТС. Все эти проблемы требуют активного развития интеллектуального транспорта для улучшения текущей ситуации с городским движением и достижения благотворного круга развития. Кроме того, инновации и прорывы в новых технологиях, таких как искусственный интеллект (далее – ИИ), облачные вычисления и IoT, дали многим транспортным компаниям направления для исследования и разработки продуктов. Благодаря высокотехнологичным преимуществам, программное и аппаратное обеспечение транспорта постоянно развивается в направлении интеллекта. На этом фоне отрасль в целом находится на стадии роста, а спрос на интеллектуальный транспорт растет и имеет широкое пространство. С другой стороны, правительства разных стран также играют активную роль в продвижении организации ИТС.

Развитие транспортных систем прошло через множество этапов. Традиционно индуктивный петлевой детектор [8, 9] может обнаруживать транспортные средства по индуцированному току в петле пересекающего транспортного средства. Пневматическая труба [10, 11] обнаруживает транспортные средства по изменению давления в трубопроводе. Эти устройства

собирают ключевую информацию: поток транспорта и скорость движения. Тем не менее, из-за высокой стоимости реализации и воздействия на дорожное движение в процессе внедрения, эти технологии не получили быстрого распространения, особенно в местах скопления людей. С развитием технологий беспроводных датчиков и изображений камеры и сканеры радиочастотной идентификации [12] в основном используются для сбора данных о дорожном движении. Камеры устанавливаются в различных точках транспортной сети для записи дорожной обстановки. Затем специальное программное обеспечение для обработки изображений анализирует собранное видео, чтобы определить поток движения, скорость, тип транспортного средства и другую информацию. В дальнейшем широко используется автоматическое распознавание номерных знаков [13, 14] и сопоставление. В сочетании с данными о дорожном движении, полученными с помощью радиометок, можно получить информацию о движении в разное время.

Позже, с появлением видеомониторинга дорожного движения, данные о дорожном движении стали более доступными и удобными. Обработка изображений дорожного движения широко используется для определения дорожных условий и стратегии управления движением в ИТС. Однако эти изображения всегда содержат конфиденциальные данные: номера автомобилей и лица. Использование таких данных может привести к нарушению конфиденциальности водителей транспортных средств, пассажиров, пешеходов и т.д. [15]. Поэтому до сих пор не удается полностью интеллектуально управлять транспортным потоком. Например, в [16] отмечают, что на дорогах обычно установлены тысячи камер, поэтому анализ видеопотоков с этих камер в реальном времени крайне важен для обеспечения общественной безопасности. Высокая мобильность ИТС позволяет увеличить зону покрытия и быстро оказать

помощь пользователям и соседним сетям, а также снижает производительность всей системы из-за колебаний в радиоканале. На рис. 1 показана система интеллектуального диспетчерского управления автобусом на основе видеомониторинга в автобусе с

помощью мобильной связи третьего поколения (3G).

Согласно рис. 1, ИТС может обеспечить более удобное и наглядное управление автобусом благодаря интеллектуальному планированию видеомониторинга автобуса.

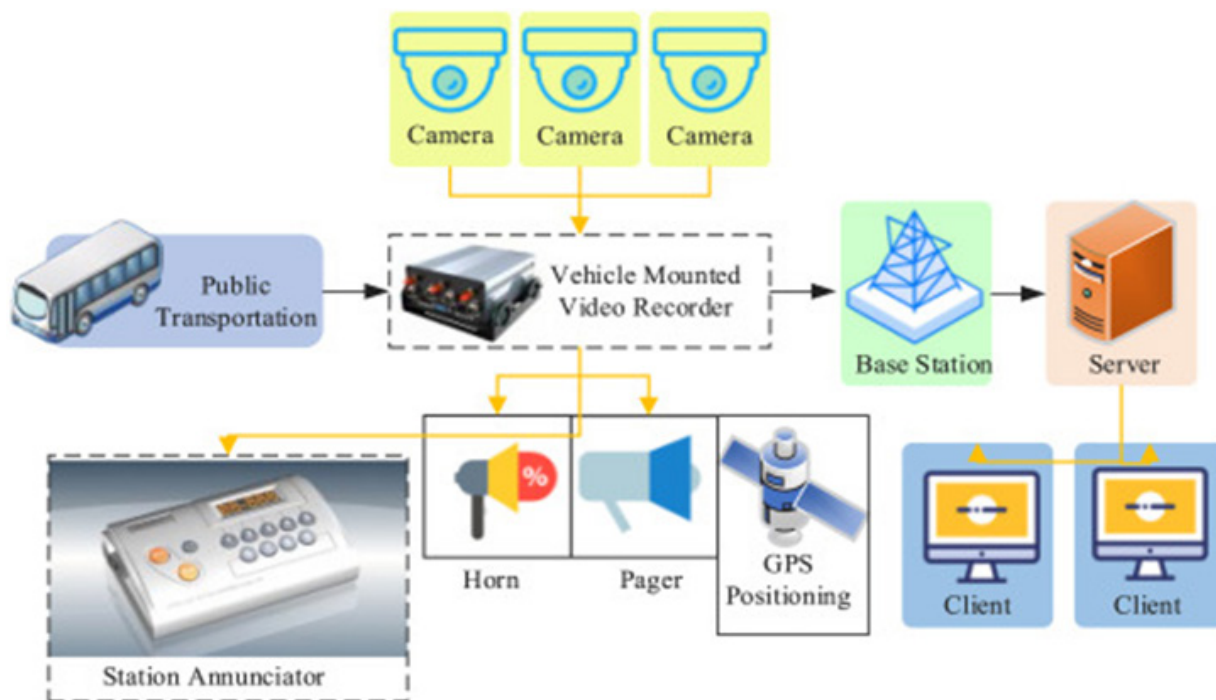


Рис. 1. Пример интеллектуальной системы диспетчеризации автобусов

В дальнейшем, в связи с ростом использования смартфонов и передовых коммуникационных технологий, данные Глобальной системы позиционирования (Global Positioning System, GPS) [17, 18], адреса контроля доступа к среде Bluetooth и WiFi компонентов [19, 20], а также данные мобильных телефонов могут быть использованы для анализа дорожных условий и даже поведения во время поездки. В настоящее время во многих городах первого и второго эшелонов началось планирование проектов интеллектуального транспорта, и в будущем они будут составлять все большую долю развития транспортной отрасли. Современные ИТС сочетают в себе компьютеры, большие данные, технологии пятого поколения (5G) и информационные системы. Сенсорные технологии, электронные системы управления, механизмы нечеткого

контроля и ИИ всесторонне применяются в транспорте, управлении, контроле и производстве транспортных средств. Они помогают создать безопасную, эффективную и энергосберегающую интегрированную транспортную систему. Они также помогают решить проблемы, существующие в традиционном транспорте, снизить нагрузку на дорожное строительство и улучшить дорожную инфраструктуру.

Кроме того, методы глубокого обучения (Deep Learning, DL) и алгоритмы больших данных могут еще больше повысить интеллектуальность транспортных приложений. Они могут удовлетворить потребности в данных, обусловленные объемом и доступностью данных в ИТС. Алгоритмы BDT и DL нашли широкое применение. Например, распознавание сигналов и обнаружение объектов обычно используют модели

DL. Так же, как и прогнозирование транспортных потоков, планирование поездок, стратегия маршрутизации, безопасность транспортных средств и дорог. Исследования многих ученых затрагивают эту область. Например, в работе [21] предложили новую ИТС с использованием сотовой сети. Они оценили скорость в конце дороги в условиях динамического движения на основе GPS-зондов и имеющихся архитектур ИТС. Предложенная система обрабатывала неверные данные о местоположении транспортных средств, полученные из сотовой сети в режиме реального времени, чтобы вычислить поток транспортных средств на краю дороги, точку опоры и пробку в пределах среднего отклонения 10%. Были проверены требования к связи и хранению данных предлагаемой ИТС, а также полезность информации о дорожном движении.

В качестве другого примера можно привести работу [22] по усовершенствованию ИТС с использованием алгоритма DL и моделированию системы. Статистически исследователи проанализировали скорость передачи данных, точность и динамическое планирование пути. Результаты показали, что успешное распространение составило 100% при передаче данных. Среди всех сравниваемых моделей точность прогнозирования системы была самой высокой при увеличении времени итерации. После анализа стратегии управления маршрутом они пришли к выводу, что предложенная стратегия может эффективно смягчать и своевременно устранять пробки.

Аналогичным образом последние разработки в области граничных вычислений и хранения данных в беспроводных сетях позволяют ИТС предоставлять высококачественные услуги транспортным средствам. Однако различные приложения для транспортных средств и изменяющиеся во времени состояния сети затрудняют эффективное распределение ресурсов в ИТС. Алгоритмы ИИ могут определять различные изменяющиеся во времени параметры

Интернета подключенных транспортных средств, что позволяет реализовать сетевые технологии на основе намерений для решения вышеуказанных проблем. В работе [23] разработали систему управления дорожным движением на основе целевого назначения. Она динамически согласовывает граничные вычисления и хранение данных для улучшения мобильных сетей, изучая глубокое обучение с подкреплением для подключенных автомобилей, предусмотренных для коммерческой эксплуатации 5G. Экспериментальные результаты, основанные на данных о реальном трафике, показали, что система работает хорошо и эффективно.

Технология DL имеет широкий спектр применения в области транспорта. Как уже упоминалось выше, алгоритмы DL часто используются для улучшения схем передачи данных и планирования движения транспортных средств, чтобы облегчить дорожные заторы. Кроме того, интеллектуальное управление движением оказывает большое влияние на эффективность планирования городского транспортного потока. Например, в источнике [24] использовали нейронную сеть с обратным распространением для разработки модели движения транспортных средств на перекрестке и приняли алгоритм динамического планирования на основе модели интеллектуальной системы управления движением для улучшения сети связи локальной вычислительной сети (Local Area Network, LAN) контроллера. Наконец, они оценили эффективность модели и улучшенной сети связи LAN-шины контроллера. Результаты показали, что нейросетевая модель может предсказывать время прохождения транспортных средств на перекрестках с ошибкой менее 10%. Как видно, применение технологии ИИ в ИТС может повысить эффективность планирования движения транспортных средств и эффективность системы связи, что имеет большое значение для улучшения коммуникационных

характеристик и эффективности планирования транспортной системы.

Из-за высокой мобильности транспортных средств и неоднородности будущих граничных вычислительных сетей на базе IoT получение качества обслуживания (Quality of Service, QoS), превосходящего качество обслуживания сети будущего поколения (т.е. граничной вычислительной платформы) в процессе передачи мультимедиа, является очень сложной задачей. Поэтому авторы [25] разработали алгоритм, учитывающий QoS, безопасный, устойчивый, надежный и пригодный для использования. Он был проверен на обширном наборе данных о транспортных средствах в режиме реального времени и продемонстрировал свое превосходство над традиционными методами, что делает его потенциальным кандидатом для доставки мультимедиа на адаптивные пограничные вычислительные платформы. Более того, в статье [26] сообщили, что в динамичной дорожной обстановке оценка ситуации на дороге может точно предсказать и оценить

ситуационный риск в пределах диапазона прогнозирования и обеспечить точную оценку ситуационного риска за пределами диапазона прогнозирования.

#### *Выводы*

Как видно, ИТС является неотъемлемым элементом создания «умного города». В ИТС оптимизация дорожной сети и мониторинг транспортных потоков под руководством алгоритмов ИИ и DL будут находиться в центре внимания исследователей. В будущем, помимо данных, полученных с помощью датчиков и камер в транспортной сети, общественные мнения и мнения, собранные в режиме онлайн (например, в социальных сетях), помогут понять ситуацию и эффективность работы городской транспортной системы. Степень и серьезность проблем с движением можно всесторонне оценить с помощью данных социальных сетей, размеченных во времени и пространстве, в сочетании с фактическими условиями движения, что очень поможет городской транспортной инфраструктуре.

#### **Список литературы**

1. Chandramohan, D. 2M2C-R2ED: Multi-Metric Cooperative Clustering Based Routing for Energy Efficient Data Dissemination in Green-VANETs / D. Chandramohan, A. Dumka, L. Jayakumar // *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*. – 2020. – Т. 5. – № 1.
2. Camacho, F. Emerging technologies and research challenges for intelligent transportation systems: 5G, HetNets, and SDN / F. Camacho, C. Cárdenas, D. Muñoz // *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*. – 2018. – Т. 12. – № 1.
3. Fatemidokht, H. Efficient and Secure Routing Protocol Based on Artificial Intelligence Algorithms with UAV-Assisted for Vehicular Ad Hoc Networks in Intelligent Transportation Systems / H. Fatemidokht, M.K. Rafsanjani, B.B. Gupta, C.H. Hsu // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2021. – Т. 22. – № 7.
4. Sharma, V. LoRaWAN-based energy-efficient surveillance by drones for intelligent transportation systems / V. Sharma, I. You, G. Pau и др. // *Energies*. – 2018. – Т. 11. – № 3.
5. Николаева, Р. В. Эффективность использования интеллектуальные транспортные системы / Р. В. Николаева, Ю. Н. Юсупкина // *Техника и технология транспорта*. – 2022. – Т. 24. – № 1. – С. 1-3.
6. Boukerche, A. Machine Learning-based traffic prediction models for Intelligent Transportation Systems. Т. 181 / A. Boukerche, J. Wang. – 2020.
7. Yu, K. Deep Learning-Based Traffic Safety Solution for a Mixture of Autonomous and Manual Vehicles in a 5G-Enabled Intelligent Transportation System / K. Yu, L. Lin, M. Alazab и др. // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2021. – Т. 22. – № 7.



8. Oh, C. A method for identifying rear-end collision risks using inductive loop detectors / C. Oh, S. Park, S.G. Ritchie // *Accident Analysis and Prevention*. – 2006. – Т. 38. – № 2.
9. Mamdoohi, A.R. Comparative analysis of safety performance indicators based on inductive loop detector data / A.R. Mamdoohi, M.F. Zavareh, C. Hydén, T. Nordfjærn // *Promet - Traffic and Transportation*. – 2014. – Т. 26. – № 2.
10. Fernandes, C.M.B. Pneumatic tube delivery system for blood samples reduces turnaround times without affecting sample quality / C.M.B. Fernandes, A. Worster, K. Eva и др. // *Journal of Emergency Nursing*. – 2006. – Т. 32. – № 2.
11. Steige, H. Evaluation of pneumatic-tube system for delivery of blood specimens. / H. Steige, J.D. Jones // *Clinical chemistry*. – 1971. – Т. 17. – № 12.
12. Ginters, E. Low cost augmented reality and RFID application for logistics items visualization / E. Ginters, J. Martin-Gutierrez // *Procedia Computer Science*. – 2013. – Т. 26.
13. Jawale, M.A. Implementation of number plate detection system for vehicle registration using IOT and recognition using CNN / M.A. Jawale, P. William, A.B. Pawar, N. Marriwala // *Measurement: Sensors*. – 2023. – Т. 27.
14. Sardar, A. Electronic Vehicle Identification: Towards Enabling Intelligent Transportation System in India / A. Sardar, P. Ranjan // *Auto Tech Review*. – 2014. – Т. 3. – № 6.
15. Liu, Y. Thresholds Based Image Extraction Schemes in Big Data Environment in Intelligent Traffic Management / Y. Liu, C. Yang, Q. Sun // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2021. – Т. 22. – № 7.
16. Wan, S. An Intelligent Video Analysis Method for Abnormal Event Detection in Intelligent Transportation Systems / S. Wan, X. Xu, T. Wang, Z. Gu // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2021. – Т. 22. – № 7. 17. Qian, C. A geometry-based cycle slip detection and repair method with time-differenced carrier phase (TDCP) for a single frequency global position system (GPS) + BeiDou navigation satellite system (BDS) receiver / C. Qian, H. Liu, M. Zhang и др. // *Sensors (Switzerland)*. – 2016. – Т. 16. – № 12.
18. Arce, A. Hydrogen consumption minimization strategy for a Fuel Cell hybrid vehicle based on Global Position System (GPS) information / A. Arce, A.J. Del Real, C. Bordons // *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*. – 2010. – Т. 43.
19. Abedi, N. Tracking spatio-temporal movement of human in terms of space utilization using Media-Access-Control address data / N. Abedi, A. Bhaskar, E. Chung // *Applied Geography*. – 2014. – Т. 51.
20. Brennan, T.M. Influence of vertical sensor placement on data collection efficiency from bluetooth MAC address collection devices / T.M. Brennan, J.M. Ernst, C.M. Day и др. // *Journal of Transportation Engineering*. – 2010. – Т. 136. – № 12.
21. Chaturvedi, M. Multi-Modal Design of an Intelligent Transportation System / M. Chaturvedi, S. Srivastava // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2017. – Т. 18. – № 8.
22. Lv, Z. Solving the Security Problem of Intelligent Transportation System with Deep Learning / Z. Lv, S. Zhang, W. Xiu // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2021. – Т. 22. – № 7.
23. Ning, Z. Joint Computing and Caching in 5G-Envisioned Internet of Vehicles: A Deep Reinforcement Learning-Based Traffic Control System / Z. Ning, K. Zhang, X. Wang и др. // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2021. – Т. 22. – № 8.
24. Lv, Z. AI Empowered Communication Systems for Intelligent Transportation Systems / Z. Lv, R. Lou, A.K. Singh // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2021. – Т. 22. – № 7.

25. Sodhro, A.H. Quality of Service Optimization in an IoT-Driven Intelligent Transportation System / A.H. Sodhro, M.S. Obaidat, Q.H. Abbasi и др. // IEEE Wireless Communications. – 2019. – Т. 26. – № 6.

26. Gao, H. Situational Assessment for Intelligent Vehicles Based on Stochastic Model and Gaussian Distributions in Typical Traffic Scenarios / H. Gao, J. Zhu, T. Zhang и др. // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. – 2022. – Т. 52. – № 3.

УДК 621.316.3

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛА СИГНАЛА  
ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПО  
ВЕЛИЧИНЕ ШУМА**

**DETECTING THE BEGINNING OF THE  
TRANSIENT SIGNAL  
FROM THE NOISE VALUE**

*Минаев И.А., аспирант кафедры «ЭСиС»;*

*ORCID: 0009-0001-4208-5992;*

*E-mail: enhtane@gmail.com;*

*Хузяшев Р.Г., к.ф.-м.н., доцент  
кафедры «ЭСиС» ФГБОУ ВО «Казанский  
государственный энергетический  
университет»;*

*ORCID: 0000-0002-1114-163X;*

*E-mail: 142892@mail.ru;*

*Тукаев С.М., руководитель направления  
«СКАТ», Группа компаний «Эскаорт»,  
г. Казань, Россия;*

*E-mail: s.tukaev@skatenergy.ru*

*Minaev I.A., postgraduate student of ES&S*

*Department;*

*ORCID: 0009-0001-4208-5992;*

*E-mail: enhtane@gmail.com;*

*Khuzyashev R.G., Candidate of Physical and  
Mathematical Sciences, Associate Professor,  
ES&S Department, Kazan State Power*

*Engineering University;*

*ORCID: 0000-0002-1114-163X;*

*E-mail: 142892@mail.ru;*

*Tukaev S.M., head of the «SKAT» department,  
«Escort Monitoring Systems», Kazan, Russia;*

*E-mail: s.tukaev@skatenergy.ru*

**Аннотация**

Статья посвящена исследованию алгоритма определения начала сигнала переходного процесса (далее – НСПП), который используется при функционировании комплексов волнового определения места повреждения в электроэнергетических системах. Основное внимание уделяется проблеме шумов, которые являются основной причиной неточного определения НСПП. Предлагается использование различных уровней порога для предотвращения ошибочного определения НСПП, вызванного влиянием нестационарных шумов. Также рассматривается применение алгоритма на практике и проводится анализ его эффективности. В статье представлены результаты тестирования алгоритма на базе данных реальных сигналов и предложены рекомендации по его улучшению.

**Ключевые слова:** определение места повреждения, волновой метод, сигнал переходного процесса, шум, энергетическая система, стационарный, нестационарный

**Abstract**

The article is devoted to the study of algorithm for determining the beginning of the transient signal (BTS), which is used in the functioning of complexes of wave fault location in electric power systems. The main attention is paid to the problem of noise, which is the main cause of inaccurate determination of the BTS. The use of different threshold levels to prevent erroneous BTS detection caused by the influence of non-stationary noise is proposed. The application of the algorithm in practice is also discussed and its effectiveness is analyzed. The paper presents the results of testing the algorithm on the basis of real signal data and offers recommendations for its improvement.

**Keywords:** fault location, wave method, transient signal, noise, power system, stationary, non-stationary

Среди большинства методов, реализующих определение места повреждения (далее – ОМП), в последнее время возрос интерес к волновому ОМП (далее – ВОМП). Алгоритм ВОМП основан на регистрации НСПП в крайних точках сети в единой шкале времени. ВОМП показывает неплохие результаты и уже применяется в магистральных линиях высокого напряжения [1-5].

Основным и наиболее важным параметром является время НСПП, т.к. оно поможет определить точное место расположения источника сигнала переходного

процесса (далее – СПП). Поэтому чем точнее определяется время НСПП, тем точнее будет определено место возникновения СПП.

В условиях отсутствия шума и при наличии достаточного уровня полезного сигнала, определение НСПП не представляет сложностей (рис. 1). Наиболее простым методом для определения НСПП в таких сигналах, является пороговый метод [6]. Выставляется определенный порог, и если в определенный момент времени сигнал превысит этот порог, то этот момент времени будет являться НСПП (рис. 2).

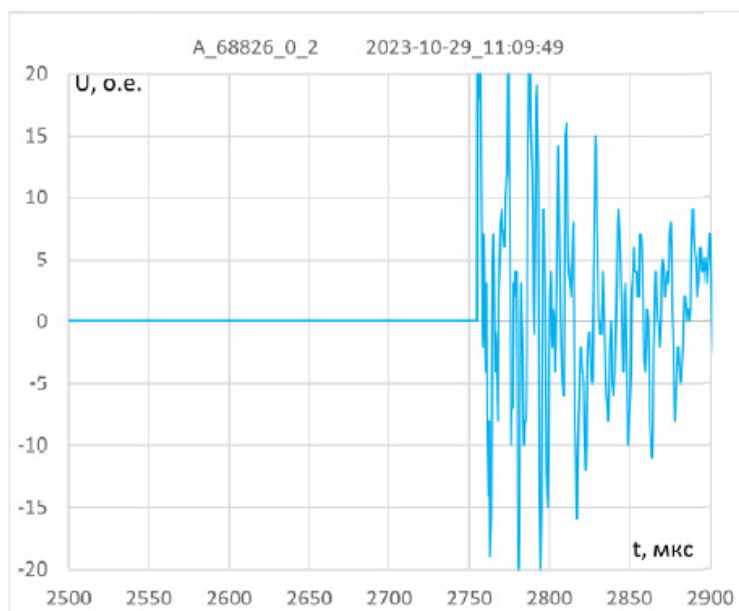


Рис. 1. Пример сигнала без шумов

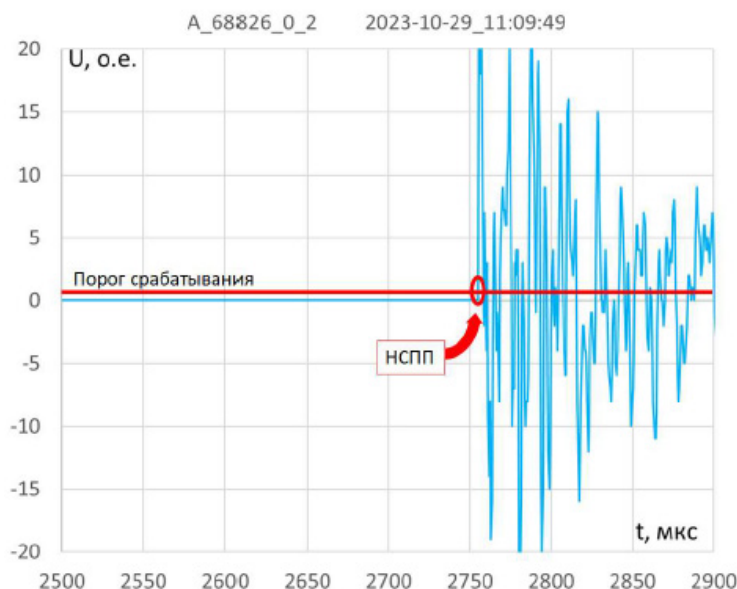


Рис. 2. Пример порогового метода

Корректность определения времени НСПП в значительной степени зависит от амплитуды СПП: чем она ниже, тем сложнее идентифицировать его на фоне шумов энергетической системы [7]. Шум также затрудняет корректную работу методов определения НСПП. Электрические сети могут содержать нежелательные сигналы или помехи, которые возникают в различных компонентах и устройствах системы. Эти шумы могут быть вызваны различ-

ными причинами, включая электрические разряды, переключение устройств, а также внешние воздействия [8].

Пример некорректной работы порогового метода представлен на рис. 3. На протяжении всего сигнала присутствуют шумы, что препятствует правильной работе порогового метода. Поэтому на данный момент основной проблемой при определении НСПП являются шумы.

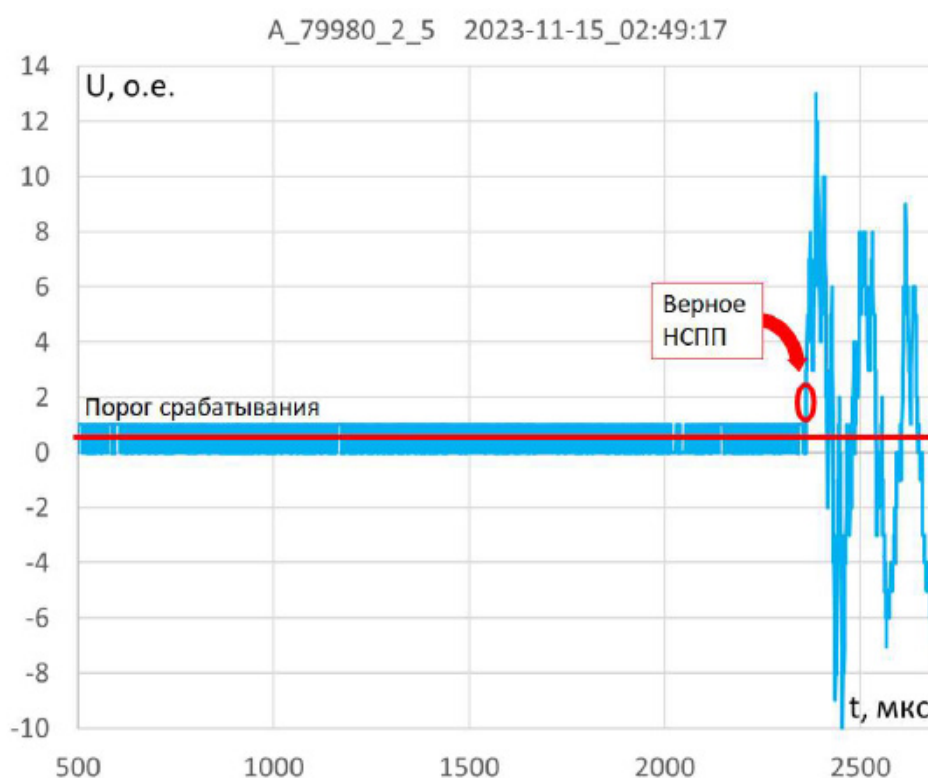


Рис. 3. Некорректная работа порогового метода

При определении НСПП шумы можно разделить на два основных типа:

1) стационарный шум (далее – СШ) представляет собой постоянный и равномерный шум, который имеет одинаковый спектральный состав на протяжении всего времени наблюдения (рис. 3). Такие шумы в основном не создают серьезной угрозы для определения НСПП и лишь незначительно влияют на точность результата;

2) нестационарные шумы (далее – НШ), напротив, обладают изменяющимся спектральным составом. Спектральный состав этого шума меняется случайным образом,

и его крайне сложно предсказать. Такие шумы представляют наибольшую опасность для определения НСПП и значительно влияют на точность результата [9].

Для повышения точности определения НСПП был разработан новый алгоритм, который называется шумовым НСПП (далее – ШНСПП). Это модифицированный пороговый метод. Суть данного алгоритма заключается в измерении максимальной величины шума. В сигналах, которые регистрируют датчики [10], полезный сигнал начинается после 1500 мкс. Поэтому для проверки величины шума используются

первые 1000 микросекунд сигнала. Максимальная величина шума будет являться уровнем порога. Если сигнал в какой-либо момент времени превысит данный порог,

то этот момент времени и будет являться ШНСПП (рис. 4). Этот способ позволяет полностью избавиться от проблем со СШ.

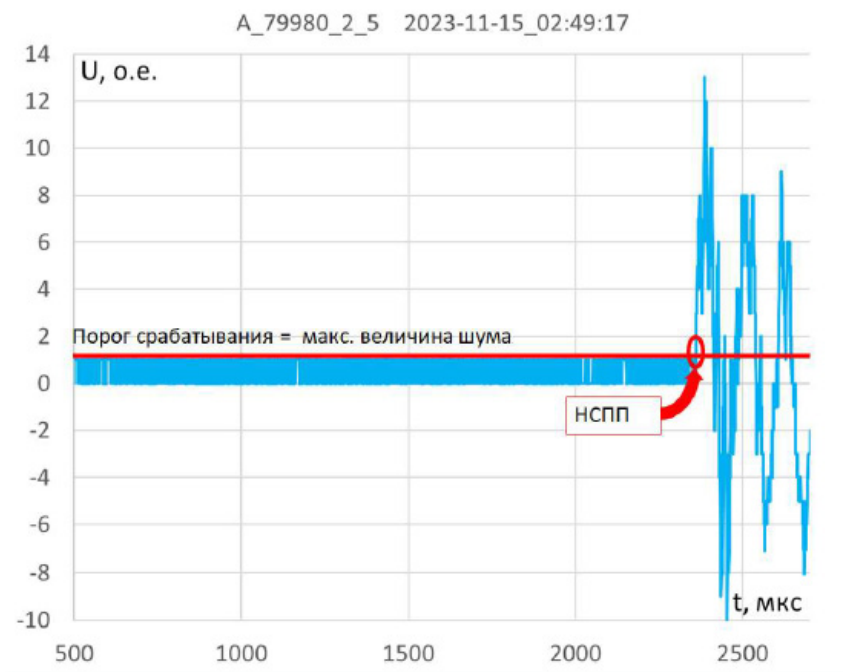


Рис. 4. Демонстрация работы ШНСПП

Однако так как после первой миллисекунды сигнала могут также присутствовать НШ до самого НСПП (рис. 5), эти шумы

могут случайным образом возникнуть в любом месте сигнала и нарушить работу данного алгоритма.

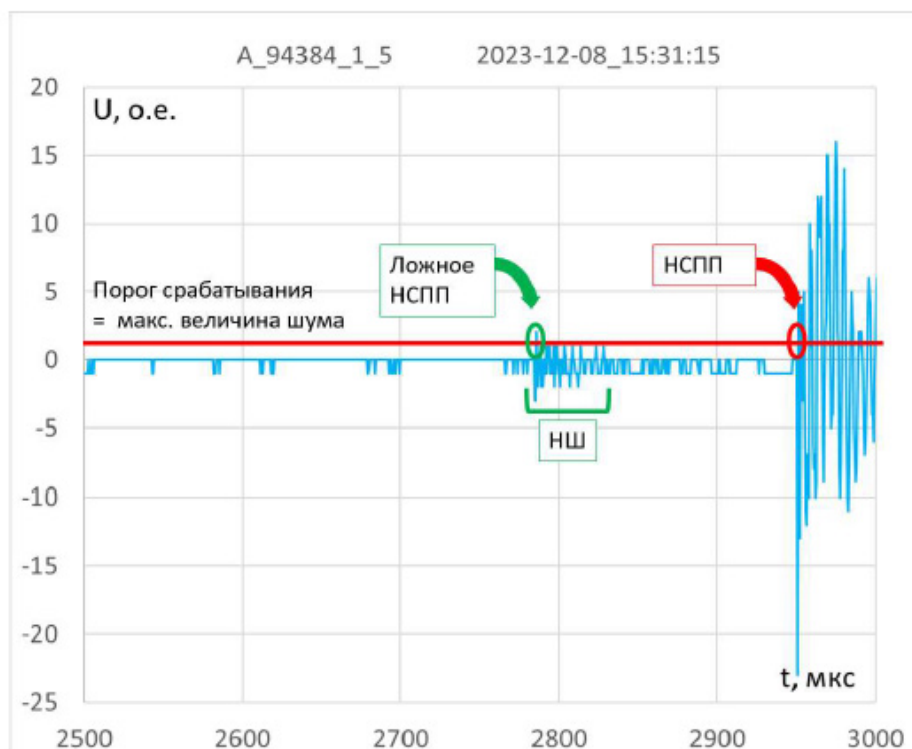


Рис. 5. Влияние НШ на работу алгоритма

Поэтому алгоритм ШНСПП был разделен на различные уровни. Для этого был введен параметр под названием «минимальный порог». Если в сигнале максимальная величина шума меньше мини-

мального порога, то порог приравнивался к минимальному порогу. Однако если уровень шума превышал минимальный порог, он приравнивался к максимальной величине шума (рис 6,7).

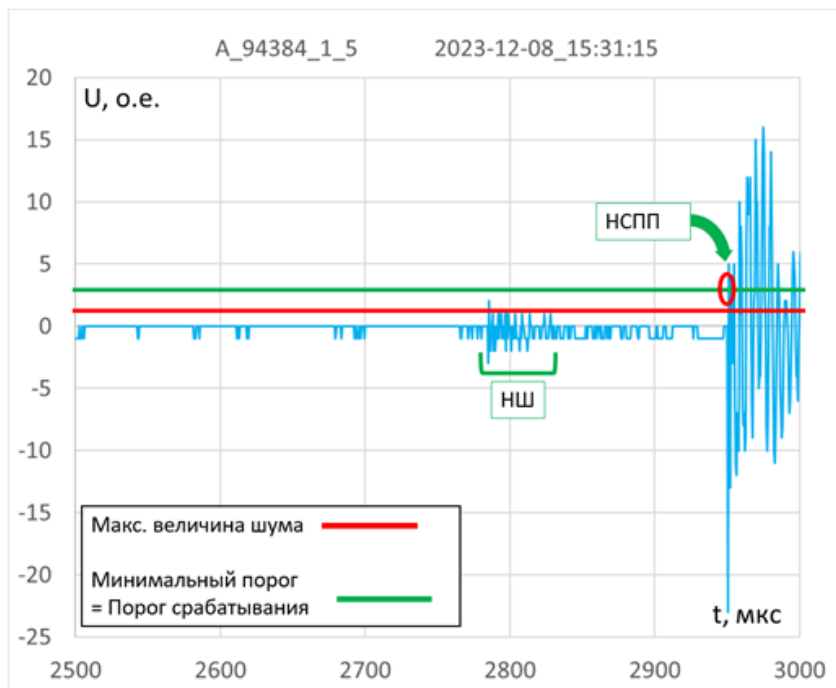


Рис. 6. После добавления минимального порога

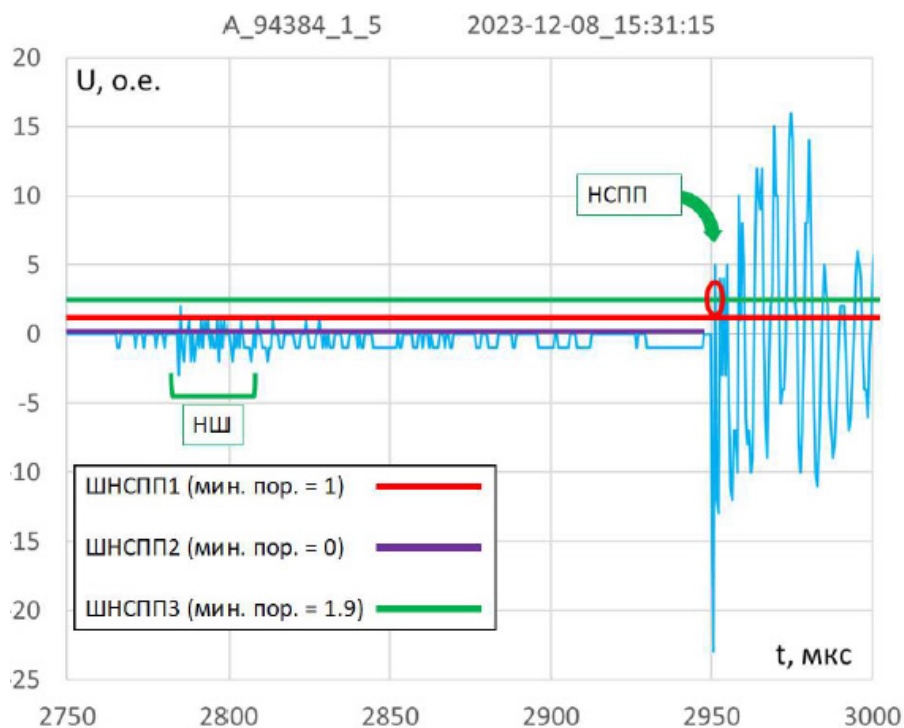


Рис. 7. Различные уровни порога ШНСПП

ШНСПП был разделен на три уровня:  
 1) ШНСПП1;  
 2) ШНСПП2; ШНСПП3. Соответственно, у каждого свой минимальный порог:  
 1) мин. порог = 1; 2) мин. порог = 0;  
 3) мин. порог = 1,9 (рис. 7).

Использование различных уровней порога в определенных ситуациях позволит предотвратить ошибочное определение НСПП, обусловленное влиянием НШ. Кроме того, существенные различия между

уровнями ШНСПП могут служить показателем наличия НШ и способствовать их обнаружению.

Работа алгоритма ШНСПП была проверена на базе данных 177 сигналов за период с октября до декабря 2023 г. Сигналы были получены с 5 датчиков системы «СКАТ-ВОМП» [10], установленных в распределительной сети 10 кВ (рис. 8), регистрирующие три фазных напряжения на шинах КТП.

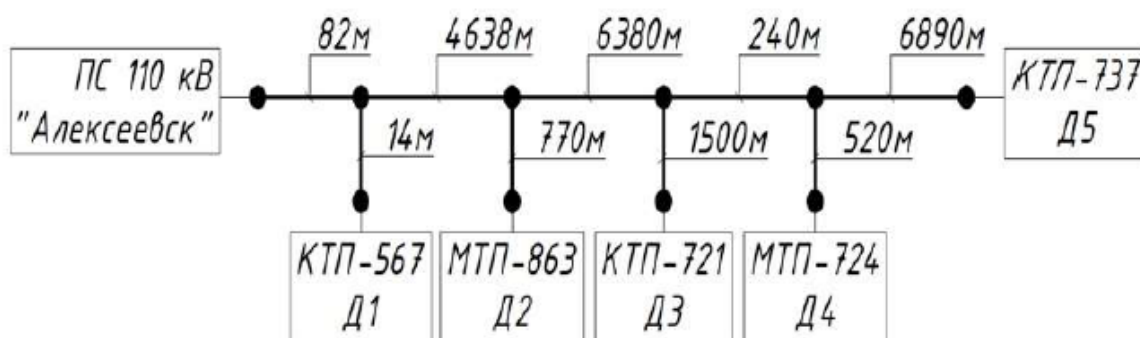


Рис. 8. Схема сети с датчиками системы «СКАТ-ВОМП»

Для верификации результатов работы алгоритма ШНСПП было проведено сравнение с результатами визуального определения НСПП (ВНСПП). Ниже представлен рисунок, в котором сравниваются ШНСПП и ВНСПП (рис.9.). Приведено количество серьезных (разница больше 50 мкс), средних (разница от 50 до 10 мкс) и незначи-

тельных (разница меньше 10 мкс и больше 0 мкс) ошибок для каждого уровня ШНСПП. А также приведена средняя величина ошибки (разница между ШНСПП и ВНСПП) и количество сигналов без ошибки (разница равна 0 мкс) для каждого уровня ШНСПП.

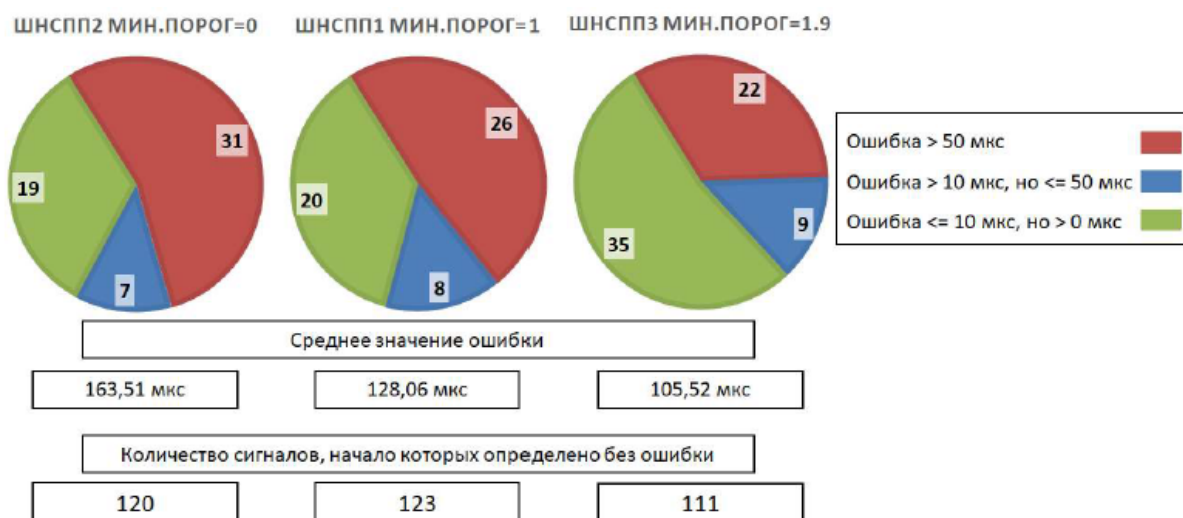


Рис. 9. Сравнение результатов

Сравнение результатов показало, что увеличение минимального порога приводит к уменьшению ложных срабатываний на НШ и к уменьшению среднего значения ошибки. Кроме этого, увеличивается количество незначительных ошибок.

Рассмотрим более подробно причину серьезных ошибок. Их можно разделить на три основные причины:

1) недостаточный уровень минимального порога. В осциллограммах (рис. 10) перед самым СПП присутствуют сигналы-предвестники с достаточно большой амплитудой, приводящие к реагированию алгоритма;

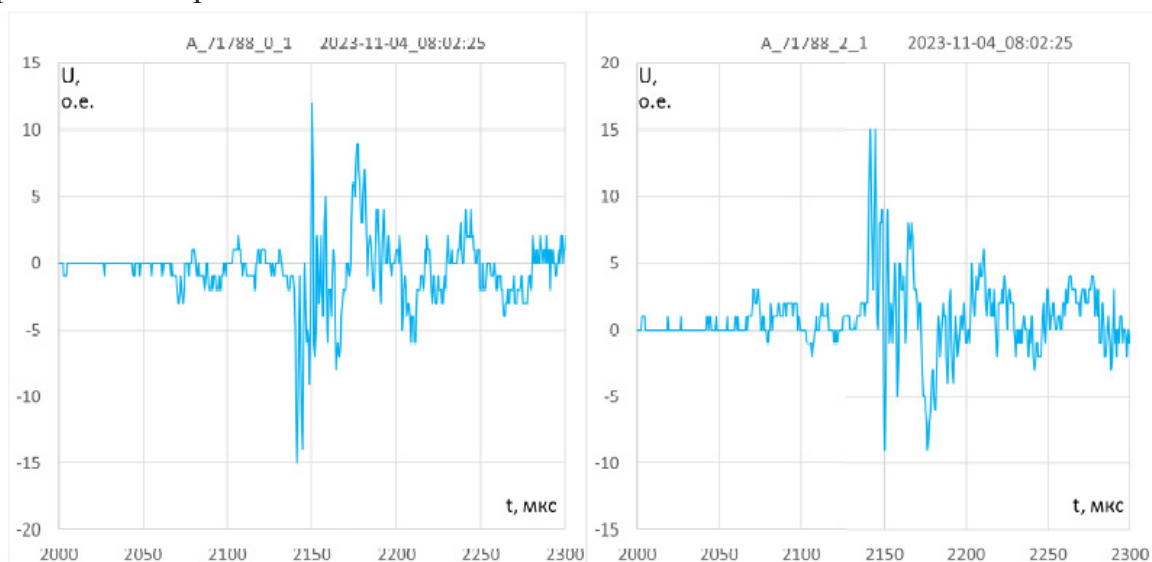


Рис. 10. Пример первой основной причины возникновения ошибки

2) недостаточная амплитуда СПП (амплитуда СПП немного больше либо равна амплитуде шума) (рис. 11). В этом

случае невозможно определить НСПП не только с помощью алгоритма, но и визуально;

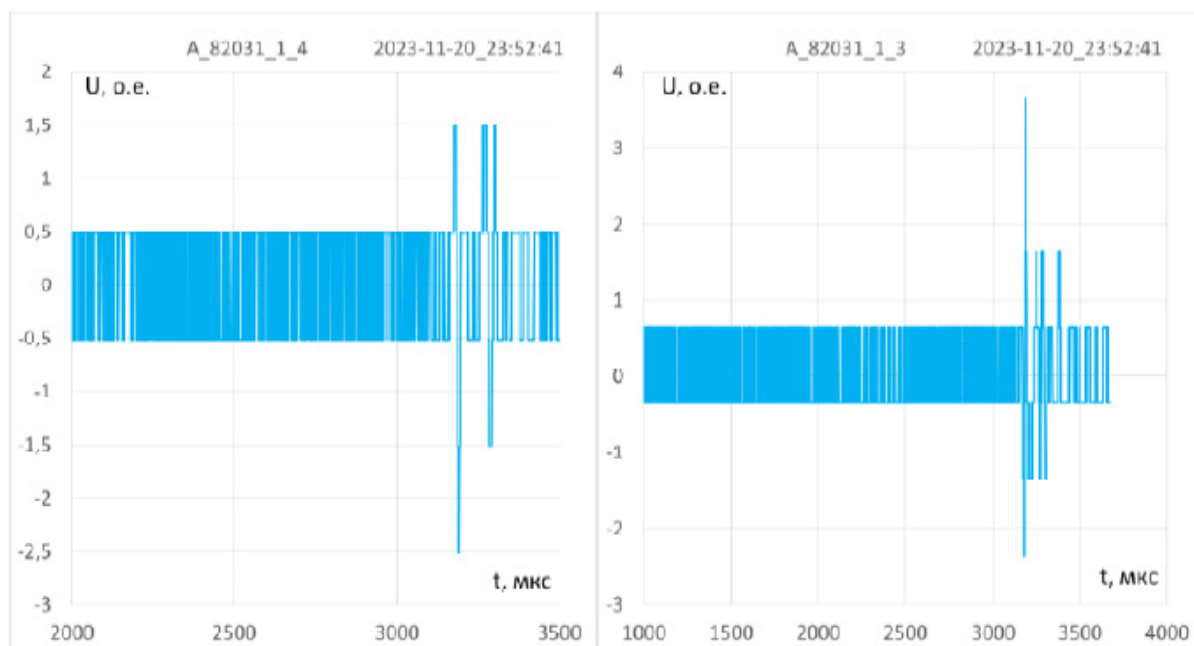


Рис. 11. Пример второй основной причины возникновения ошибки



3) сильные шумы и неявно выраженное НСПП. В типичных условиях СПП имеет импульс большой амплитуды с резким передним фронтом, после которого следует постепенное снижение амплитуды. Тем не менее, представленные осцилло-

граммы (рис. 12) отличаются отсутствием ярко выраженного переднего фронта. В таких случаях определение НСПП, с помощью алгоритма и визуально, представляет собой сложную задачу.

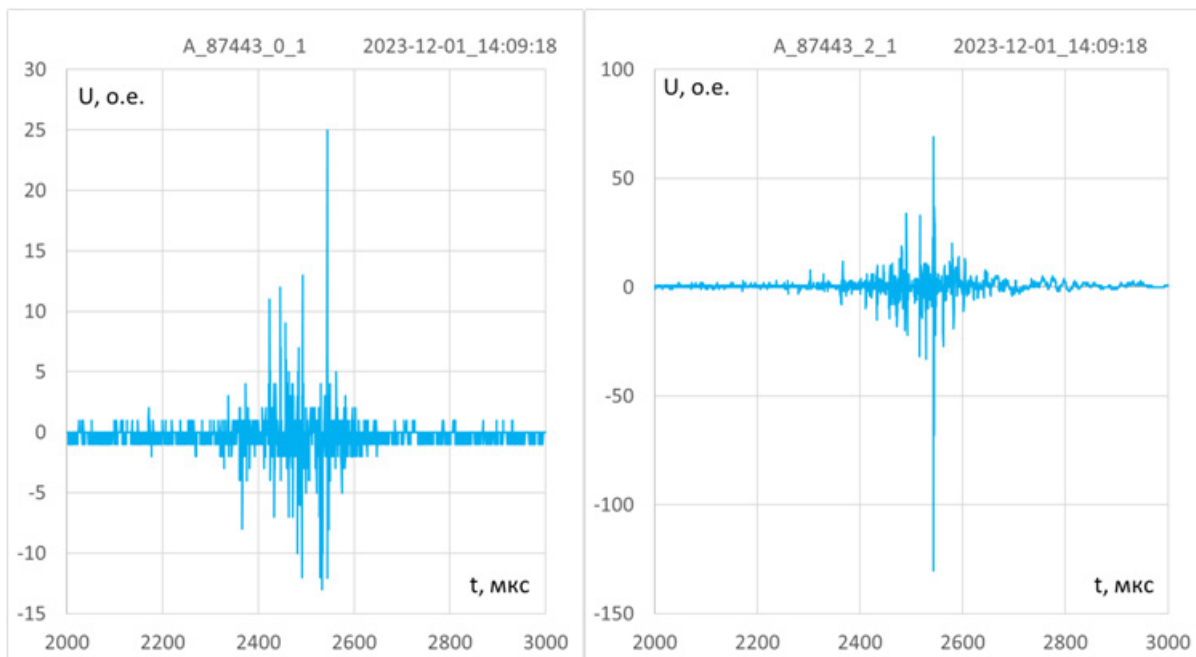


Рис. 12. Пример третьей основной причины возникновения ошибки

На основе полученных данных можно заключить, что алгоритм ШНСПП эффективно определяет НСПП в сигналах с достаточной амплитудой (больше 3 о.е.) и при отсутствии или наличии СШ. Несколько уровней порога можно использовать как индикатор НШ. Увеличение величины минимального порога позволяет уменьшить количество ложных срабатываний при НШ, однако дальнейшее увеличение приводит к уменьшению количества верно определённых НСПП. Поэтому дальнейшее увеличение величины минимального порога нецелесообразно.

#### Список литературы

1. Huibin Jia An Improved Traveling-Wave-Based Fault Location Method with Compensating the Dispersion Effect of Traveling Wave in Wavelet Domain, *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2017, Article ID 1019591, 11 pages, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1019591>.
2. E.O. Schweitzer, A. Guzmán, M.V. Mynam, Skendzic, V., Kasztenny, B., & Marx, S. Locating faults by the traveling waves they launch, in *Proc. 67th annual conference for protective relay engineers*, pp. 95-110, March 2014.

3. What is Traveling Wave Fault Location? | Qualitrol Corp [Электронный ресурс]. URL: <https://www.qualitrolcorp.ru/resource-library/blog/what-is-traveling-wave-fault-location/> (date of access: 25.10.23).

4. Ma G. et al. A Method of line fault location based on traveling wave theory // International Journal of Control and Automation. – 2016. – Т. 9. – №. 2. – С. 261-270.

5. Marx S. et al. Traveling wave fault location in protective relays: Design, testing, and results //proceedings of the 16th Annual Georgia Tech Fault and Disturbance Analysis Conference, Atlanta, GA. – 2013.

6. Дичев, Н. В. Метод определения временного положения медленно нарастающего эхо-импульса / Н. В. Дичев и др. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2010. – Т. 317. – № 4.

7. Fedorov A. et al. Limitations of traveling wave fault location //2020 Ural Smart Energy Conference (USEC). – IEEE, 2020. – С. 21-25.

8. Якимов, А. В. Введение в физику шумов / А. В. Якимов. – Н. Новгород : Изд-во НГУ, 2016. – 108 с.

9. Алимуратов, А. К. Обработка речевых команд в системах голосового управления // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2014. – №1 (7). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obrabotka-rechevyh-komand-v-sistemah-golosovogo-upravleniya> (дата обращения: 29.06.2024).

10. Система «СКАТ-ВОМП» [Электронный ресурс]. – URL: <https://skatenergy.ru> (дата обращения: 17.06.24).

**УДК 004.42**

**ИНТЕГРАЦИЯ ПОДСИСТЕМЫ  
ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ В ЕДИНУЮ  
ПЛАТФОРМУ УПРАВЛЕНИЯ  
ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ:  
ТЕХНОЛОГИИ И РЕАЛИЗАЦИЯ**

**INTEGRATION OF VIDEO  
SURVEILLANCE SUBSYSTEM INTO  
A UNIFIED TRANSPORT SYSTEM  
MANAGEMENT PLATFORM:  
TECHNOLOGY AND IMPLEMENTATION**

*Минниханов Р.Н., д.т.н., профессор, президент Академии наук РТ, председатель Совета Ассоциации содействия цифровому развитию, директор ГБУ «Безопасность дорожного движения»;  
ORCID: 0000-0001-9166-2955;  
Аникин И.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», ведущий специалист сектора инновационного развития ГБУ «Безопасность дорожного движения»;  
ORCID: 0000-0001-9478-4894;  
Фарахов И.Р., заместитель директора – начальник управления развития информационных систем;  
Дагаева М.В., начальник Центра разработки и сопровождения информационных систем;  
ORCID: 0000-0002-5444-9669;  
Габбазов Р.М., ведущий специалист сектора инновационного развития;*

*Minnikhanov R.N., doctor of technical sciences, professor, president of the Tatarstan Academy of Sciences, Chairman of the Board of the Association for Digital Development Assistance, director the State budgetary institution «Road Traffic Safety»;  
ORCID: 0000-0001-9166-2955;  
Anikin I.V., doctor of technical sciences, professor, head of the Information Protection Systems Department of the Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, lead specialist of the innovative development sector of the State budgetary institution «Road Traffic Safety»;  
ORCID: 0000-0001-9478-4894;  
Farakhov I.R., deputy director – head of the Information Systems Development Department;  
Dagaeva M.V., head of the Center for the Development and Maintenance of Information Systems;  
ORCID: 0000-0002-5444-9669;  
Gabbazov R.M., lead specialist of the innovative development sector;*

*Карпенкова Д.И., специалист 1 категории сектора разработки ГБУ «Безопасность дорожного движения», Казань, Россия; ORCID: 0009-0008-3897-7286*

*Karpenkova D.I., 1st category specialist of the development sector of the State budgetary institution «Road Traffic Safety», Kazan, Russia; ORCID: 0009-0008-3897-7286*

### **Аннотация**

В статье рассмотрены особенности интеграции в единую платформу управления транспортной системой подсистемы видеонаблюдения, предназначенной для получения и отображения в режиме реального времени информации с видеокамер г. Казани. С целью интеграции проведен анализ, выбор и реализация технологии трансляции RTSP-видеопотока на веб-интерфейс подсистемы.

**Ключевые слова:** видеонаблюдение, ЕПУТС, интеллектуальная транспортная система, микросервисы

### **Abstract**

The article discusses the features of integration into Unified transport system management platform of a video surveillance subsystem designed to receive and display real-time information from video cameras in Kazan. For the purpose of integration, the analysis, selection and execution of the technology of broadcasting an RTSP video stream to the web interface of the subsystem was carried out.

**Keywords:** video surveillance, Unified transport system management platform, video streams, intelligent transport systems

### *Введение*

В настоящее время в рамках проектирования интеллектуальных транспортных систем актуальным является автоматический сбор и анализ как можно более полной информации о дорогах, дорожной инфраструктуре, движении транспортных средств, возникающих при этом проблемных ситуациях и т.д. Для решения этих задач разрабатываются различные информационные системы, которые должны быть интегрированы в рамках единой платформы с целью агрегирования собираемой информации и формирования консолидированных решений на основе единой системы сбора, мониторинга и обмена данными в режиме реального времени. Для решения данной задачи в рамках национального проекта «Безопасные качественные дороги» (далее – БКД) предполагается внедрение единой платформы управления транспортной системой (далее – ЕПУТС). Ее цель – систематическое и скоординированное управление разными подсистемами

интеллектуальных транспортных систем (далее – ИТС) для решения транспортных проблем и развития эффективной городской мобильности в будущем [1].

В Республике Татарстан в рамках БКД с 2020 г. разрабатывается подобная платформа [2]. ЕПУТС создается для обеспечения взаимосвязанного функционирования всех подсистем и сервисов ИТС дорожной сети городской агломерации как единого целого. В рамках нее интеграция с различными компонентами ИТС, их доработка и модернизация, внедрение новых инструментов сбора и анализа данных позволяют повысить качество транспортных услуг, снизить временные и денежные затраты на транспорт, повысить безопасность участников дорожного движения и эффективность взаимодействия и реагирования различных служб и в общем виде повысить эффективность использования транспортных сетей.

Интерфейс ЕПУТС с перечнем основных подсистем представлен на рис. 1.

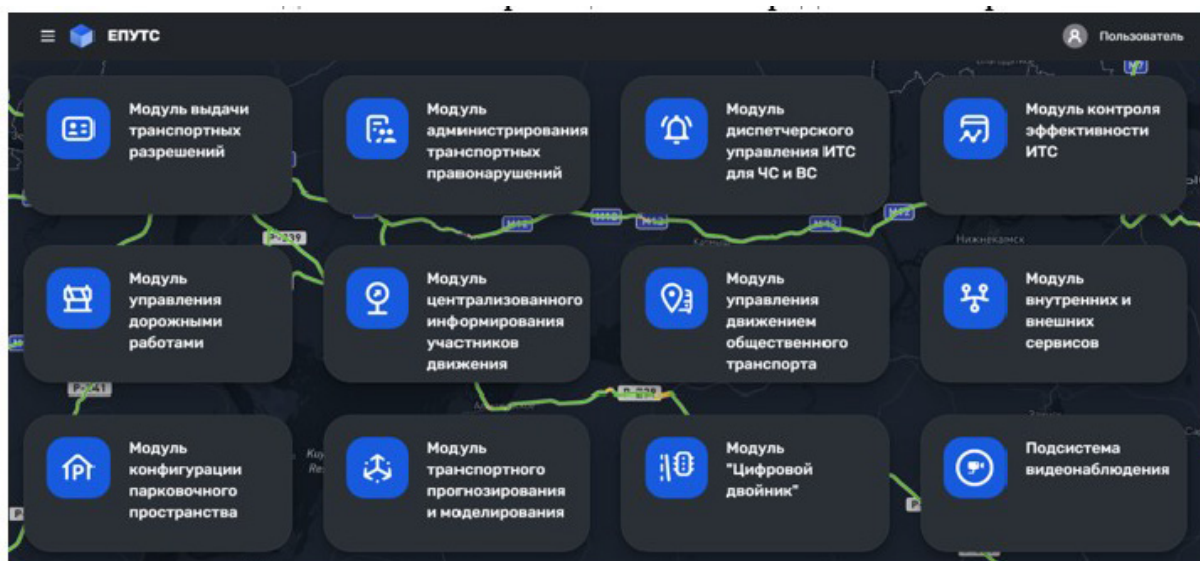


Рис. 1. Подсистемы ЕПУТС

ЕПУТС функционирует в Казанской и Набережночелнинской городских агломерациях.

Субъектами в Казанской агломерации являются: администрация муниципального образования г. Казани, администрации Зеленодольского, Высокогорского, Пестрчинского, Лаишевского, Верхнеуслонского, Арского, Тюлячинского муниципальных районов. Субъектами в Набережночелнинской агломерации являются: администрация муниципального образования города Набережные Челны, администрации Тукаевского, Менделеевского, Елабужского, Мензелинского, Заинского, Сармановского муниципальных районов.

Одной из важнейших подсистем ЕПУТС является подсистема видеонаблюдения, она собирает в едином пространстве видеопотоки камер наблюдения в реальном времени. Разработка и внедрение данной системы позволяют оперативно отслеживать ситуацию на автомобильных дорогах городских агломераций.

Разработкой подсистемы видеонаблюдения занимался Центр разработки и сопровождения информационных систем ГБУ «Безопасность дорожного движения».

Основная цель внедрения подсистемы – повышение уровня безопасности дорожного движения путем решения следующего

комплекса задач в режиме реального времени на основе анализа видеоданных:

- мониторинга дорожной ситуации;
- распознавания опасных событий и ситуаций на дорогах, выявление нарушений ДТП.

Также обеспечена возможность записи видеoinформации для последующего анализа и использования.

Подсистема представляет собой интерактивную карту, на которой отображается местоположение доступных видеокамер, а также информация о них. Внешний вид подсистемы видеонаблюдения представлен на рис. 2.

#### Исследование

В рамках работ по интеграции подсистемы видеонаблюдения в ЕПУТС было проведено тестирование и сравнительный анализ эффективности использования технологий HLS [3] и WebRTC [4] для потоковой передачи кадров и трансляции RTSP-видеопотока на веб-интерфейс подсистемы. Тестирование производилось на оборудовании со следующими характеристиками: процессор – AMD EPYC 7551P 32-Core Processor, объем ОЗУ – 512 Гб, видеокарта – NVIDIA Tesla V100 (2 шт.). Результаты сравнительного анализа представлены в табл. 1.

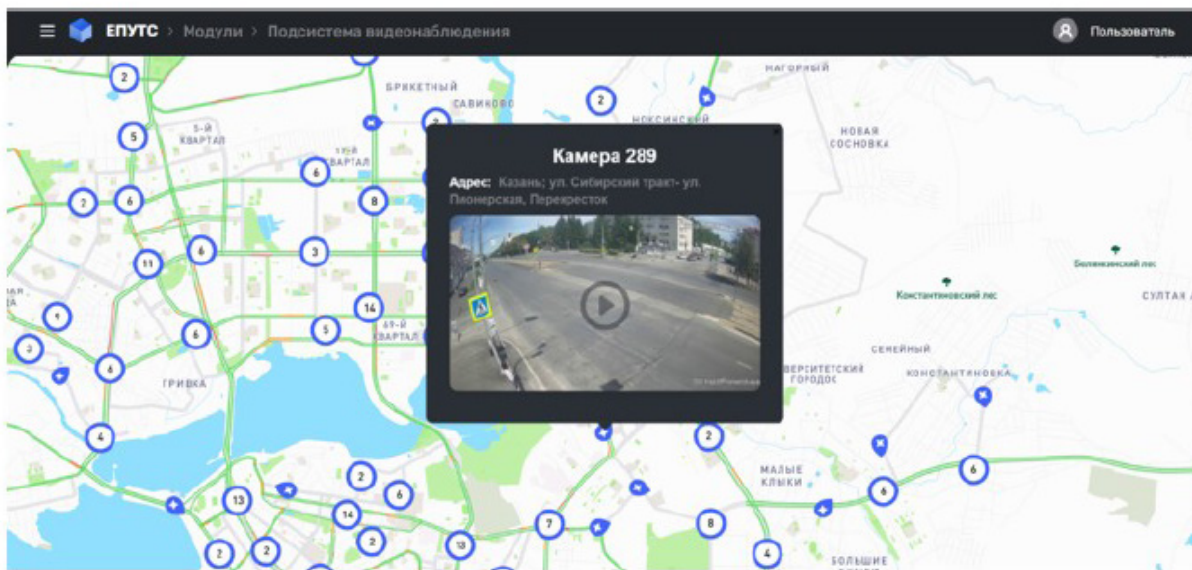


Рис. 2. Внешний вид подсистемы видеонаблюдения

Таблица 1

Результаты сравнительного анализа технологий

Реализация	ЦП	ОЗУ, Гб	Сеть, Мбит/с	Диск	Изображение	Замечания
StreamingResponse via FastAPI + OpenCV	8 % 2-3 ядра до ~ 100 %	< 1	≈ 80	≈ 0 Кб/с	Задержка 1-2 с. Имеются подергивания и редкие задержки – максимально близко к просмотру RTSP-потока в VLC	Через «белый» IP (100 Мбит/с) – 1-2 видеопотока В локальной сети (600 Мбит/с) – 5-6 видеопотоков
RTMP + HLS via Nginx + FFmpeg	6 % 1-2 ядра до ~ 80 %	< 1	=2	до ~ 15 Мб/с каждые N с	Задержка от N с (может возрасти со временем). Отсутствуют задержки, так как в сегмент видео записывается каждый полученный кадр	Перезапись на диск каждые N с ведет к уменьшению ресурса диска Оптимальная длительность сегмента видео – 5-6 с

WebRTC via aairtc: WebSockets + PyAV (оболочка над FFmpeg)	6 % 3-4 ядра до ~ 50 %	< Гб	=6	≈ 0 Кб/с	Задержка < 1 с. Имеются по- дергивания и редкие задержки – максимально близко к просмотру RTSP-потока в VLC	Для каждого видеопотока необходимо создавать и поддерживать websocket- соединение, а также обра- батывать все события В теории мож- ет привести к проблемам в многопо- точной реал- лизации
---	---------------------------------	------	----	----------	---	--

Наиболее эффективной с точки зрения нагрузки на сеть оказалась технология WebRTC, имеющая минимальную задержку при отображении информации.

Для подсистемы видеонаблюдения разработана мультиточечная и мультиклиентская реализация сервера, преобразующего

RTSP-видеопоток для последующей его передачи по протоколу WebRTC. Передача видеопотока от одной камеры нескольким клиентам оптимизирована при помощи проксирования. Микросервисная архитектура подсистемы видеонаблюдения представлена на рис. 3.

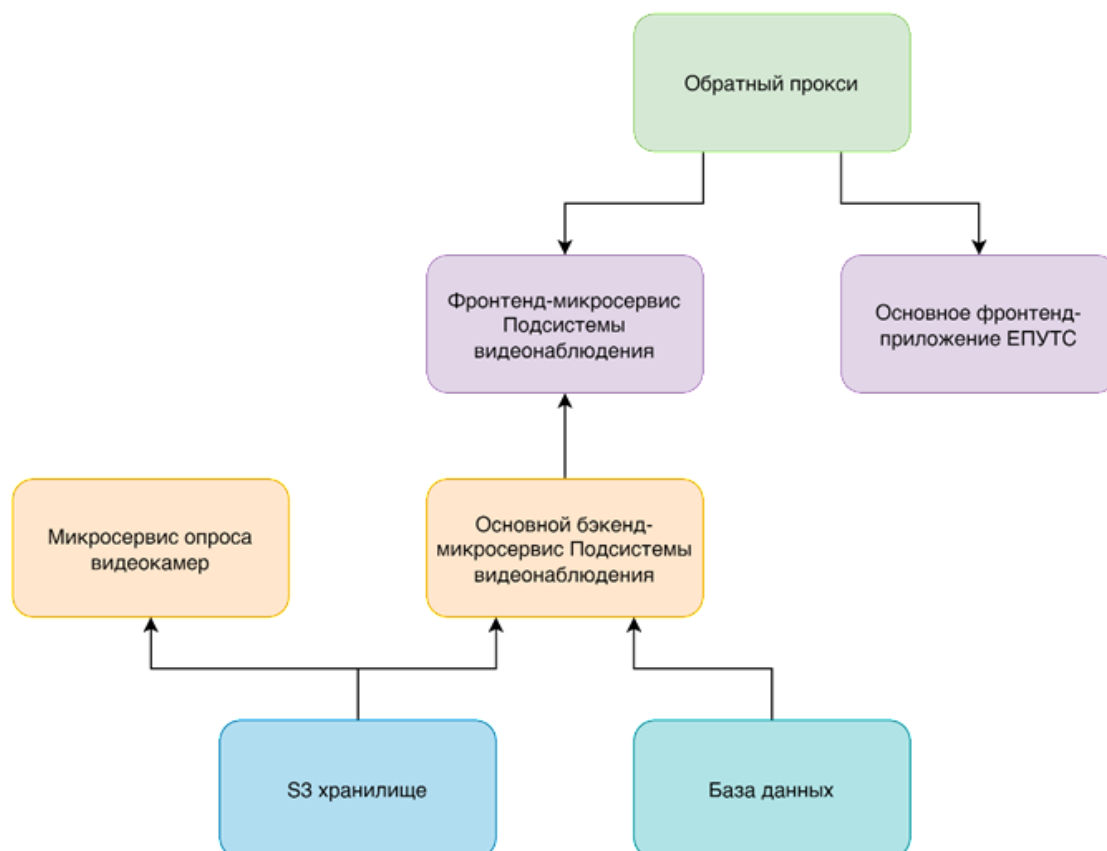


Рис. 3. Микросервисная архитектура подсистемы

Для сохранения обзорных фотографий с видеокamer реализован отдельный микросервис, проверяющий работоспособность всех камер и обновляющий соответствующие им обзорные фотографии (рис. 2). Все микросервисы упакованы в контейнер Docker [5], подготовлен bash-скрипт для развертывания на целевом сервере. Подготовлен frontend-микросервис, написанный на React [6] с использованием библиотеки single-spa [7]. На основе данного микросервиса реализована подсистема видеонаблюдения с географической подложкой, включающей слой с информацией о местополо-

жении камер АСУДД [8]. Для ограничения доступа в подсистему внедрена аутентификация и авторизация Single Sign-On [9] с использованием Keycloak [10].

#### *Выводы*

Результатом выполнения работ стала функционально целостная подсистема видеонаблюдения, успешно интегрированная в ЕПУТС. Данная система позволяет осуществлять оперативный мониторинг ситуации на автомобильных дорогах городских агломераций в соответствии с требованиями мероприятий по созданию ИТС в составе ЕПУТС.

#### **Список литературы**

1. Министерство транспорта Российской Федерации. Распоряжение от 27 апреля 2024 г. №АК-95-р «Об утверждении Методических рекомендаций по разработке заявок (включая локальные проекты по созданию и модернизации интеллектуальных транспортных систем) субъектов Российской Федерации на получение субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации в целях реализации мероприятия «Внедрены интеллектуальные транспортные системы, предусматривающие автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек» в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» государственной программы Российской Федерации...». – URL: [www.base.garant.ru/408962761/](http://www.base.garant.ru/408962761/) (дата обращения: 20.06.2024). – Текст: электронный.
2. Минниханов, Р. Н. Развитие ИТС: единые цифровые платформы для безопасного управления транспортной системой / Р. Н. Минниханов, М. В. Дагаева, А. З. Махмута // Журнал «Безопасность дорожного движения». – 2022. – №3. – С. 19-22. – URL: [www.cyberleninka.ru/article/n/razvitie-its-edinye-tsifrovye-platformy-dlya-bezopasnogo-upravleniya-transportnoy-sistemoy](http://www.cyberleninka.ru/article/n/razvitie-its-edinye-tsifrovye-platformy-dlya-bezopasnogo-upravleniya-transportnoy-sistemoy) (дата обращения: 20.06.2024).
3. Fenil Jain HLS in Depth / Fenil Jain [Электронный ресурс] // Build powerful live experiences with Dyte's : [сайт]. – URL: [www.dyte.io/blog/hls-in-depth/](http://www.dyte.io/blog/hls-in-depth/) (дата обращения: 21.06.2024).
4. Sven Ubik, Jiri Melnikov, Zdeňek Trávníček Video Streaming to Empowered Video Walls [Текст] / Sven Ubik, Jiri Melnikov, Zdeňek Trávníček. – DOI: 10.24425/123526. – Текст электронный // International journal of electronics and telecommunications. – 2018. – № 64, 3. – С. 329-334. – URL: [www.journals.pan.pl/Content/107741/PDF/45\\_1448.pdf](http://www.journals.pan.pl/Content/107741/PDF/45_1448.pdf) (дата обращения: 21.06.2024).
5. Docker overview [Электронный ресурс] // docker.docs : [сайт]. – URL: [www.docs.docker.com/guides/docker-overview/](http://www.docs.docker.com/guides/docker-overview/) (дата обращения: 22.06.2024).
6. Bielak, K., Borek, B., & Plechawska-Wójcik, M. Web application performance analysis using Angular, React and Vue.js frameworks [Текст] / Bielak, K., Borek, B., & Plechawska-Wójcik, M. – DOI: 10.35784/jcsi.2827. – Текст электронный // Journal of Computer Sciences Institute. – 2022. – № 23. – С. 77-83. – URL: [www.ph.pollub.pl/index.php/jcsi/article/view/2827/2658](http://www.ph.pollub.pl/index.php/jcsi/article/view/2827/2658) (дата обращения: 22.06.2024).
7. Single-spa-react [Электронный ресурс] // single-spa: [сайт]. – URL: [www.single-spa.js.org/docs/ecosystem-react/](http://www.single-spa.js.org/docs/ecosystem-react/) (дата обращения: 22.06.2024).

8. Минниханов, Р. Н. ИТС среда Республики Татарстан для обеспечения безопасности дорожного движения / Р. Н. Минниханов, А. З. Махмутова, А. И. Сабитов. – DOI: 10.53039/2079-4401.2021.5.3.016. – Текст электронный // Современная наука. – 2021. – № 3. – С. 92-96. – URL: [www.cyberleninka.ru/article/n/its-sreda-respubliki-tatarstan-dlya-obespecheniya-bezopasnosti-dorozhnogo-dvizheniya](http://www.cyberleninka.ru/article/n/its-sreda-respubliki-tatarstan-dlya-obespecheniya-bezopasnosti-dorozhnogo-dvizheniya) (дата обращения: 22.06.2024).

9. Демидова, А. Ю. Технология Single Sign On: инструменты централизованной аутентификации для функциональной системы сервисов / А. Ю. Демидова, А. В. Жуков // ИВД. 2020. – № 3 (63). – URL: [www.cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-single-sign-on-instrumenty-tsentralizovannoy-autentifikatsii-dlya-funktsionalnoy-sistemy-servisov](http://www.cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-single-sign-on-instrumenty-tsentralizovannoy-autentifikatsii-dlya-funktsionalnoy-sistemy-servisov) (дата обращения: 22.06.2024).

10. Ayan Chatterjee, Andreas Prinz Applying Spring Security Framework with KeyCloak-Based OAuth2 to Protect Microservice Architecture APIs: A Case Study [Текст] / Ayan Chatterjee, Andreas Prinz – DOI: 10.3390/s22051703. – Текст электронный // Sensors. – 2022. – № 22, 5. – С. 1703-1730. – URL: [www.mdpi.com/1424-8220/22/5/1703](http://www.mdpi.com/1424-8220/22/5/1703) (дата обращения: 23.06.2024).

**УДК 62-5:621.865:621.317**  
**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ**  
**СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**  
**АВТООПЕРАТОРА ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ**  
**ЛИНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ**  
**ДВУХКАНАЛЬНОГО ИНДУКТИВНОГО**  
**ЭНКОДЕРА И ЧАСТОТНОГО**  
**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

**AUTOMATED POSITIONING SYSTEM**  
**OF THE GALVANIC LINE AUTOMATIC**  
**OPERATOR USING A TWO-CHANNEL**  
**INDUCTIVE ENCODER AND A**  
**FREQUENCY CONVERTER**

*Мухаметжанов Р.Н., к.т.н., доцент кафедры «Электроэнергетические системы и сети»; ORCID: 0000-0003-0081-3813; E-mail: ruustem@yandex.ru;*  
*Каминский С.О., аспирант; ORCID: 0009-0008-1019-0457; E-mail: wolf19980202@gmail.com;*  
*Омельянский Д.С., магистрант ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия; ORCID: 0009-0008-8702-9493; E-mail: demon.0311@yandex.ru*

*Mukhametzhonov R.N., Ph.D., associate professor of the Department of «Electric Power Systems and Networks»; ORCID: 0000-0003-0081-3813; E-mail: ruustem@yandex.ru;*  
*Kaminsky S.O., postgraduate; ORCID: 0009-0008-1019-0457; E-mail: wolf19980202@gmail.com;*  
*Omel'yansky D.S., master's student of the Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia; ORCID: 0009-0008-8702-9493; E-mail: demon.0311@yandex.ru*

**Аннотация**

Современные гальванические линии требуют высокой точности и надежности в управлении перемещением автооператоров для обеспечения качественного покрытия деталей. Основной целью данного исследования является разработка и анализ эффективности автоматизированной системы позиционирования автооператора, использующей двухканальный индуктивный энкодер и частотный преобразователь. Разработана и испытана система линейного энкодера из индуктивных датчиков с определенным их расположением относительно друг друга и частотного преобразователя для управления двигателем. Она включает в себя два индуктивных датчика «счета позиций» и один индуктивный датчик для быстрой остановки, а также включает в себя пластину реагирования с определенной конфигурацией. Предложен и испытан оптимальный способ передачи сигнала в частотный преобразователь для остановки автооператора от индуктивного датчика для быстрой остановки.



**Ключевые слова:** автоматизация, автоматизированные системы, система позиционирования, энкодер, индуктивные датчики, частотный преобразователь

**Abstract**

Modern galvanic lines require high accuracy and reliability in controlling the movement of automatic operators to ensure high-quality coating of parts. The main objective of this study is to develop and analyze the efficiency of an automated positioning system for automatic operators using a two-channel inductive encoder and a frequency converter. A system of a linear encoder made of inductive sensors with a certain arrangement relative to each other and a frequency converter for controlling the engine has been developed and tested. It includes two inductive sensors for «position counting» and one inductive sensor for quick stop, and also includes a response plate with a certain configuration. An optimal method for transmitting a signal to the frequency converter for stopping the automatic operator from an inductive sensor for quick stop has been proposed and tested.

**Keywords:** automation, automated systems, positioning system, encoder, inductive sensors, frequency converter

*Введение*

Автоматизированные системы управления в гальваническом производстве обеспечивают точное и своевременное перемещение деталей между ваннами для различных стадий обработки, точное время нахождения деталей в самих ваннах, а также поддержание в ваннах необходимых уровней жидкостей, температур, запуска система подачи воздуха и т.д. Эти системы способствуют улучшению качества продукции, сокращению времени цикла и минимизации влияния человеческого фактора [1]. Введение автоматизации позволяет не только повысить производительность, но и снизить вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором.

Для выполнения перемещений автооператоров и их позиционирования на сегодняшний день чаще всего используются инкрементальные энкодеры, лазерные дальнометры и другие системы.

На гальванических производствах используются агрессивные жидкости с разными уровнями нагрева. Происходят испарения этих жидкостей. При таких условиях эксплуатации многие системы перемещения и позиционирования становятся недолговечными. В рамках санкций, наложенных на Россию, ряд оборудования, в том числе и с соответствующим IP, является очень дорогостоящим

или не доступным для приобретения.

Предлагаем использовать индуктивные датчики для решения задач перемещения и позиционирования автооператоров. Индуктивные датчики устойчивы к таким условиям работы, так как имеют в основной своей массе IP 67, срок службы их большой, стоимость невысока, они доступны для приобретения.

Разработка, использующая двухканальный индуктивный энкодер и частотный преобразователь как единую систему управления, актуальна для повышения точности перемещений и позиционирования автооператора, надежности системы и снижения эксплуатационных затрат. Такая система позволяет увеличить производительность и качество гальванического покрытия, а также уменьшить потребность в обслуживании и ремонте оборудования [2]. В условиях повышенных требований к качеству продукции и сокращению времени на ее изготовление внедрение современных технологий автоматизации становится все более необходимым.

*1. Обзор технологий и компонентов двухканального индуктивного и инкрементального энкодеров*

Двухканальный индуктивный энкодер представляет собой устройство, преобразующее линейное или вращательное перемещение в электрические сигналы.

Он состоит из двух индуктивных датчиков и ответных пластин, определяющих положение объекта.

Принцип работы:

1. Индуктивные датчики: два датчика, расположенные последовательно (рис. 1), улавливают изменения магнитного поля, создаваемые метками [3];

2. Сигналы: при перемещении пластин мимо датчиков создается последовательный импульсный сигнал;

3. Обработка сигналов: ПЛК как счетчики импульсов обрабатывают эти сигналы, определяя направление движения и текущую позицию на линии.

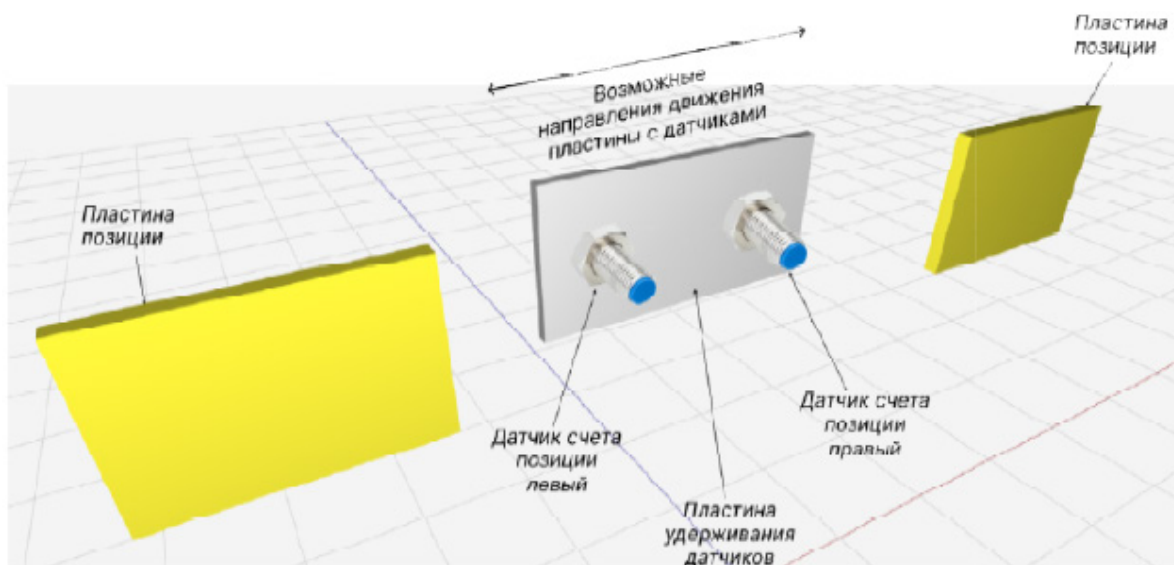


Рис. 1. Изображение линейного энкодера из индуктивных датчиков

Логика работы счета энкодера представлена на рис. 2. Направление счета [4] определяется по меандрам на двух входах: если

первый меандр опережает второй, считаются импульсы в режиме увеличения, если отстает – в режиме уменьшения.

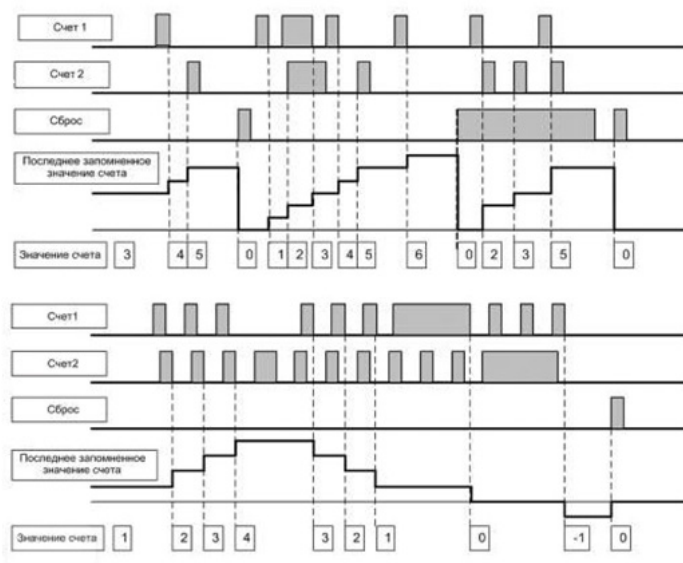


Рис. 2. Логика работы счета энкодера

Обычно применяемый для позиционирования инкрементальный энкодер выполняется с зубчатым колесом [5], которое вращает вал энкодера при помощи зубча-

той рейки (рис. 3). Только надежные энкодеры такого типа сейчас не доступны для покупки.

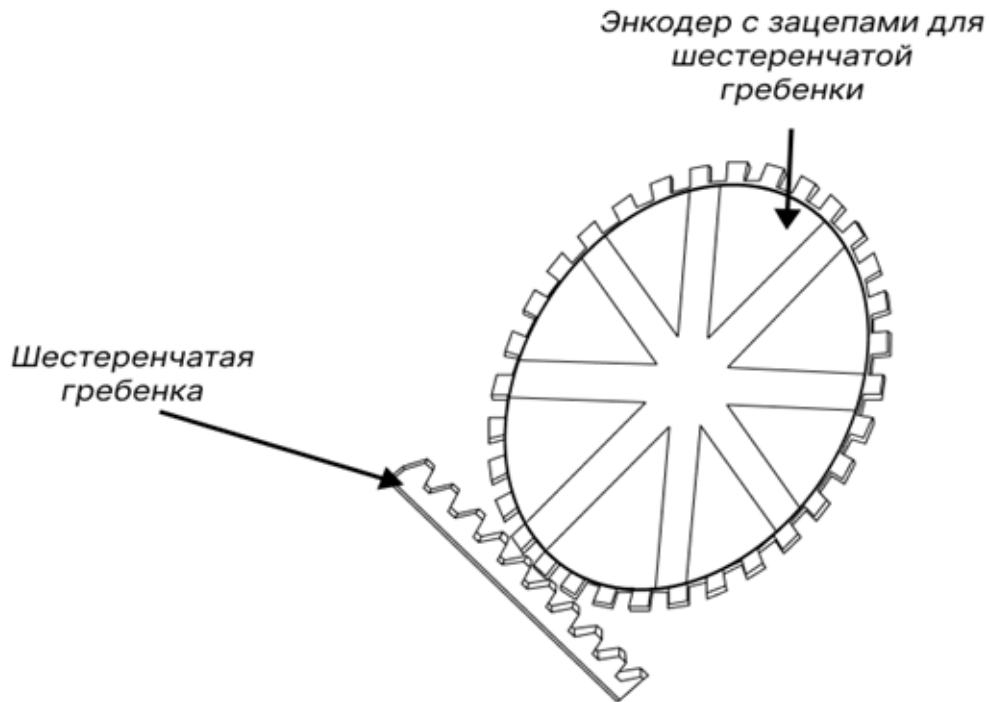


Рис. 3. Пример установки энкодера

При применении соответствующего ПЛК как счетчика импульсов можно систему, как на рис. 3, выполнить с использованием двух индуктивных датчиков [6]. Вариант такого выполнения энкодера представлен на рис. 4. Использо-

уются два индуктивных датчика и пластина реагирования, выполненная в виде диска. Такую систему предлагаем для увеличения надежности, подтверждения позиции автооператора и более гибкой настройки торможения автооператора.

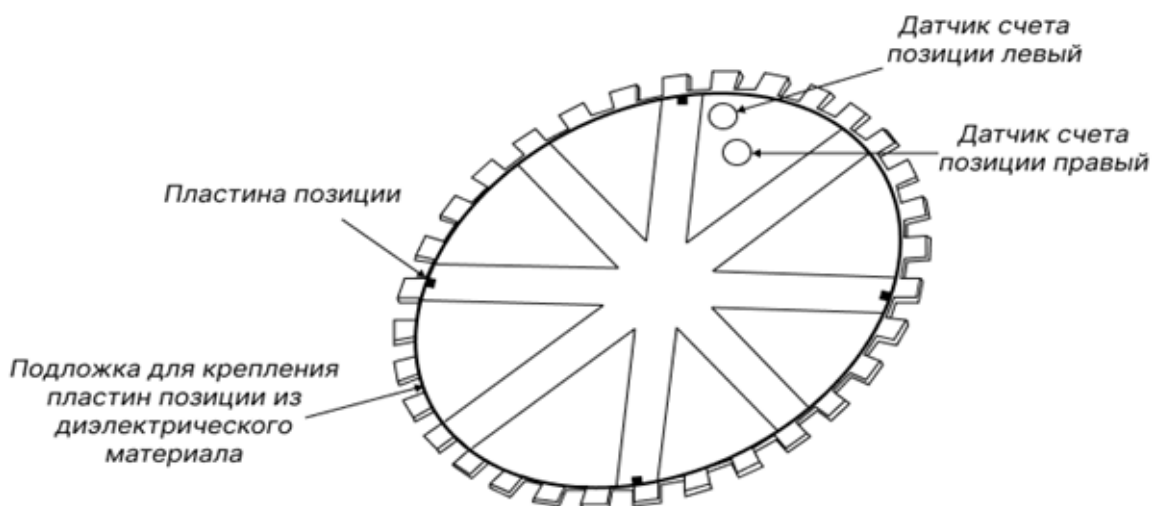


Рис. 4. Изображение одной из систем двухканального индуктивного энкодера

В случае использования индуктивных датчиков для счета позиции лучше использовать датчики с железным концом (рис. 5), так как они не будут реагировать друг на друга и их можно поставить вплот-

ную друг другу [7]. Их можно поставить ближе друг к другу, установить больше пластин на импровизированный диск энкодера, тем самым повысить количество импульсов на один оборот энкодера.

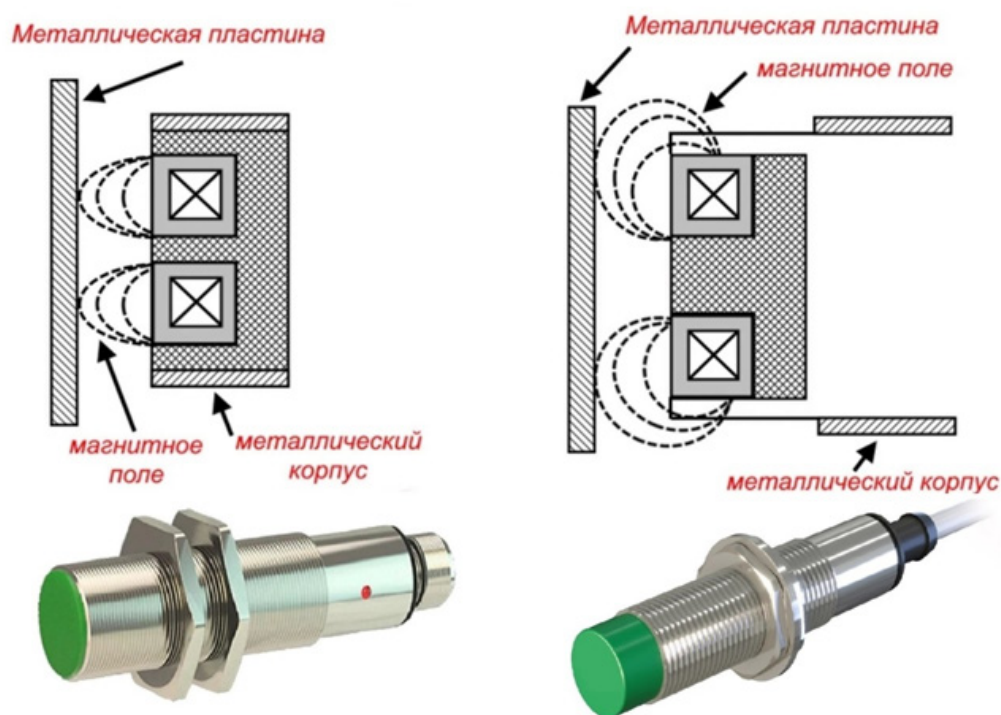


Рис. 5. Рабочие зоны индуктивных датчиков с железным концом (слева) и с пластиковым концом (справа)

2. Принципы управления электроприводом с частотным преобразователем для перемещения грузов на гальванических линиях

На гальванических линиях для перемещения грузов по вертикали и горизонтали используют трехфазные асинхронные электродвигатели с понижающим редуктором, что обеспечивает простоту установки и управления, а также высокую ремонтпригодность [8]. Точность позиционирования достигается с помощью частотных преобразователей, которые обеспечивают управление скоростью и остановку на позиции.

Электрическая схема подключения частотного преобразователя представлена на рис. 6.

Основные особенности:

– функция быстрой остановки: используется для точного останова на позиции,

обходя ПЛК, что ускоряет процесс;

– двухпроводная схема управления: каждый провод (сигналы «вперед» и «назад» – рис. 6) обозначает направление движения;

– изменение скорости по сигналу: для более высокой отзывчивости используется дискретный вход частотного преобразователя.

Вход быстрой остановки на частотном преобразователе настраивается таким образом, чтобы в случае «пропажи» напряжения на входе частотный преобразователь должен был выдать сигнал на останов двигателя. Это происходит, если включены датчики крайнего положения или аварийного крайнего положения, а также если включен датчик позиции. Байпас для снятия блокировки от датчиков крайнего положения нужен для того, чтобы автооператор мог «уйти с крайнего положения», а

сигнал от ПЛК для остановки на позиции необходим, чтобы частотный преобразователь реагировал на сигнал от датчика позиции [9].

Сигнал снятия с тормоза нужен для того, чтобы включить контактор, который отключает стояночный тормоз на электродвигателе.

Управление скоростью частотным преобразователем было выбрано через сухой контакт, так как эта система показала высокую отзывчивость (менее 500 миллисе-

кунд) по сравнению с Modbus RTU [10] (более 500 миллисекунд). На гальванической линии обычно на один автооператор используется три частотных преобразователя (горизонт, вертикаль, поддон). Время обработки каждого частотного преобразователя в зависимости от частоты работы Modbus RTU начинается от 500 миллисекунд, в группе это время может достигать до более 3 секунд. Поэтому было выбрано управление по «сухим» контактам.

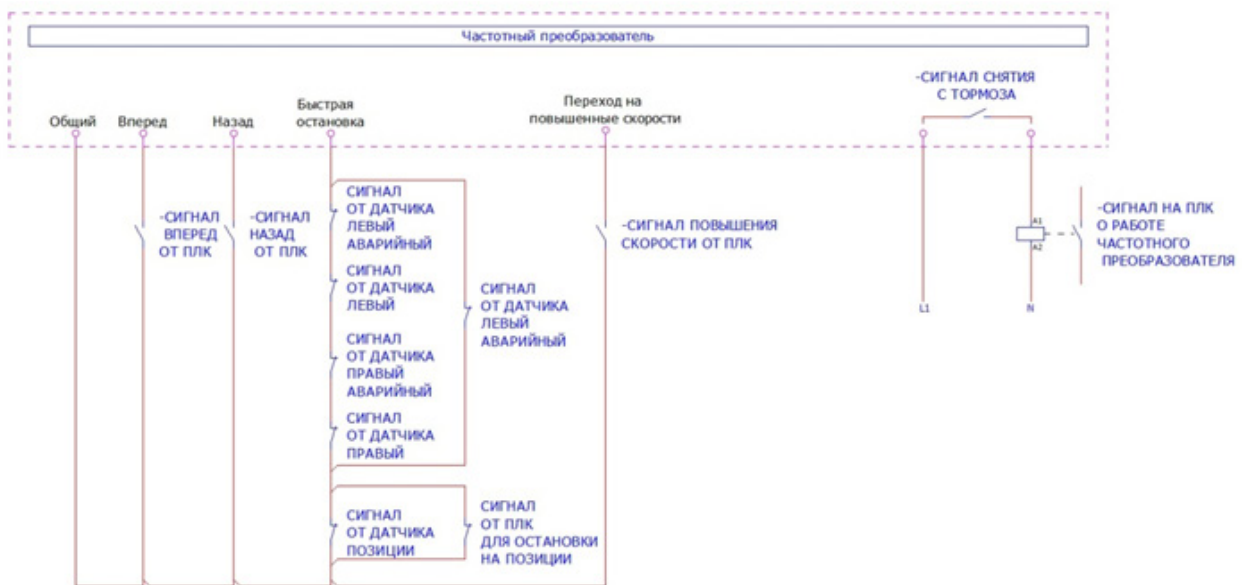


Рис. 6. Электрическая схема подключения частотного преобразователя

### 3. Предлагаемая система позиционирования и алгоритм ее работы

Система позиционирования состоит в совместной работе линейного инкрементального энкодера, двухканального индуктивного энкодера и частотного преобразователя с датчиком позиции. Пластину реа-

гирования линейного энкодера выполнили как на рис. 7. Нижняя (широкая) ее часть используется для срабатывания двух индуктивных датчиков счета позиций. Верхняя (узкая) часть используется для срабатывания индуктивного датчика «быстрой остановки», т.е. для позиционирования.

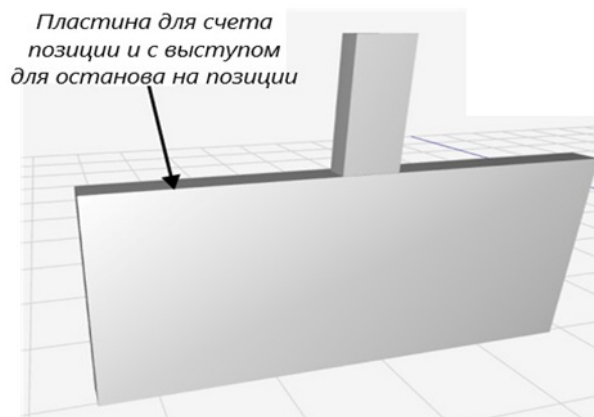


Рис. 7. Пример выполнения пластины реагирования линейного энкодера

Пример установки индуктивных датчиков линейного энкодера показан на рис. 8.

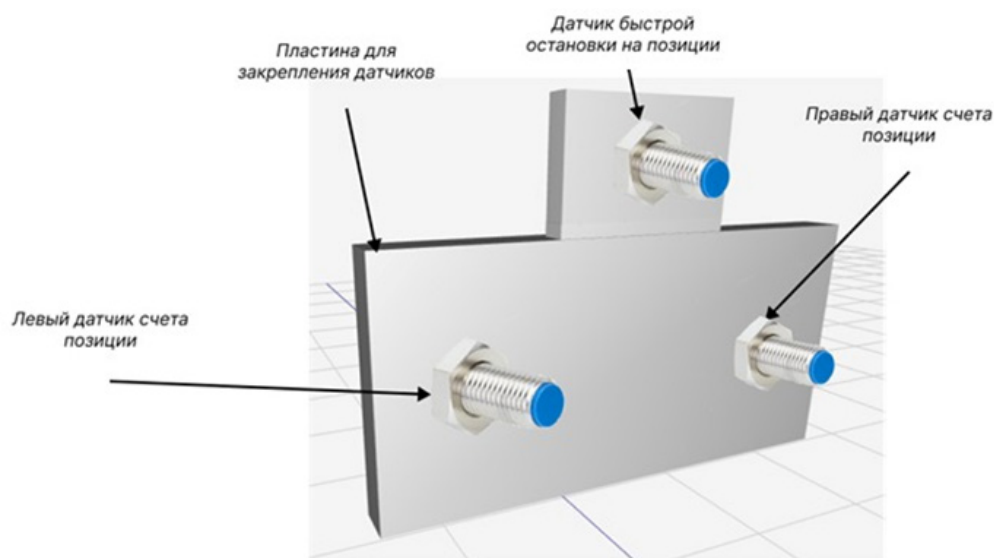


Рис. 8. Пример установки индуктивных датчиков линейного энкодера  
 Схема автоматизации этой системы показана на рис. 9.

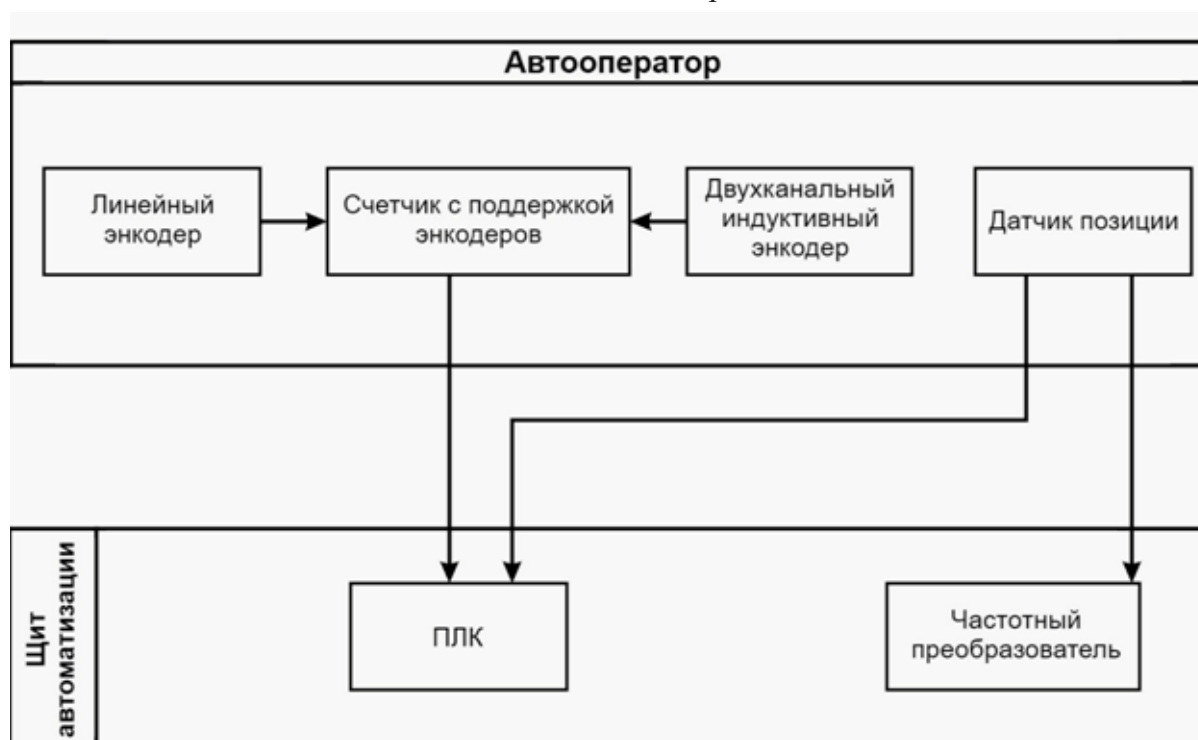


Рис. 9. Схема автоматизации автооператора

Алгоритм работы системы:

1. Счетчик считывает импульсы с линейного и двухканального индуктивного энкодера и передает эти данные на ПЛК [11].
2. При приближении к нужной позиции ПЛК отключает катушку высокой скорости на частотном преобразователе и включает катушку, снимающую шунт с датчика позиции.

3. Частотный преобразователь реагирует на датчик позиции и совершает быструю остановку, останавливаясь на позиции [12].

Использование двух энкодеров обеспечивает дополнительную надежность системы в сложной среде эксплуатации.

4. Оценка точности, скорости позиционирования и эффективности работы системы

*Анализ ошибок датчиков.*

Ошибки датчиков горизонтального энкодера и двухканального индуктивного энкодера могут возникать по следующим причинам:

- неправильное расстояние между датчиками и пластинами счета позиции: индуктивные датчики имеют определенное расстояние срабатывания в зависимости от диаметра датчика. А реальные расстояния между пластинами и датчиком могут меняться в зависимости от точности их установки. Если датчики отдалены от пластин счета позиции, они могут не считать позицию;

- ложное срабатывание: металлические конструкции, где движется автооператор, могут вызвать реакцию датчиков на выпирающие металлические элементы, что может привести к ложному срабатыванию или остановке счета позиций;

- поломка одного из датчиков: в случае отказа одного из датчиков счет позиции перестает осуществляться.

Анализ ошибок системы быстрой остановки на позиции:

- неправильное расстояние между датчиком и пластиной позиции;
- ложное срабатывание;
- поломка датчика;
- не вовремя убранный байпас на частотном преобразователе;
- высокая скорость автооператора, из-за которой он не успевает остановиться на позиции.

Выставление позиций на автооператоре:

- выставление позиции можно выполнить автоматически с использованием зафиксированных значений позиций инкрементального энкодера или вручную оператором путем присвоения реальной позиции, на которой находится автооператор гальванической линии [13].

Сравнение с другими системами:

- данная система выигрывает по стоимости и простоте обслуживания по сравнению с обычными энкодерами и лазерами

измерения расстояния. Для гальванической линии требуются приборы с защитой не менее чем IP67. Энкодеры и лазеры с такой защитой стоят дорого, и их сложно приобрести из-за санкционной нагрузки. Плюс из-за испарений пара на гальванической линии лазер может ошибочно считать значение положения автооператора, так как лазер может отреагировать на клубы пара.

Преимущества системы:

- легко переносится на другие линии, которые сооружаются вновь или требуют ремонта;

- не требует сложных компонентов;

- программное обеспечение гальванической линии можно перенастроить без значительных изменений.

*5. Программа для счета энкодера*

Программа для счета энкодера АВ реализована на языке ST (Structured Text). Основная задача этой программы – отслеживать вращение энкодера и корректно изменять значение счетчика в зависимости от направления вращения.

*Основные компоненты программы**Входы А и В:*

- это логические переменные, представляющие два канала энкодера АВ. Они могут принимать значения TRUE или FALSE в зависимости от положения энкодера.

*Состояния FSM (Finite State Machine):*

- программа использует конечный автомат (Finite State Machine, FSM) для отслеживания состояний энкодера. Состояние энкодера определяется комбинацией значений входов А и В.

*Счетчик:*

- переменная counter хранит текущее значение счетчика, которое увеличивается или уменьшается в зависимости от направления вращения энкодера.

*Логика работы программы**1. Определение текущего состояния:*

- в начале каждого цикла программы считываются текущие значения входов А и В;

- на основе комбинации значений А и В

определяется текущее состояние FSM:

- если  $A = \text{FALSE}$  и  $B = \text{FALSE}$ , то состояние = 0;
- если  $A = \text{TRUE}$  и  $B = \text{FALSE}$ , то состояние = 1;
- если  $A = \text{TRUE}$  и  $B = \text{TRUE}$ , то состояние = 2;
- если  $A = \text{FALSE}$  и  $B = \text{TRUE}$ , то состояние = 3.

2. Изменение значения счетчика:

- программа сравнивает текущее состояние FSM с предыдущим состоянием;
- в зависимости от перехода между состояниями определяется направление вращения энкодера:
  - если предыдущее состояние было 0 и текущее состояние 1, то вращение вперед, и счетчик увеличивается;
  - если предыдущее состояние было 0 и текущее состояние 3, то вращение назад, и счетчик уменьшается;
  - аналогично для остальных переходов между состояниями.

- 3. Сохранение текущего состояния:
  - текущее состояние FSM сохраняется в переменную state для использования в следующем цикле.

4. Вывод значения счетчика:

- значение счетчика выводится для дальнейшего использования в системе.

Шаги логики работы программы перемещения автооператора:

На рис. 10 показаны возможные варианты/комбинации состояний индуктивных датчиков счета позиций (обозначены зелеными прямоугольниками) на примере трех позиций:

- при «подъезде» к пластине позиции с разных сторон (справа или слева);
- при полном удалении от пластин счета позиций;
- при нахождении на позициях (когда оба индуктивных датчика находятся в рабочем состоянии).

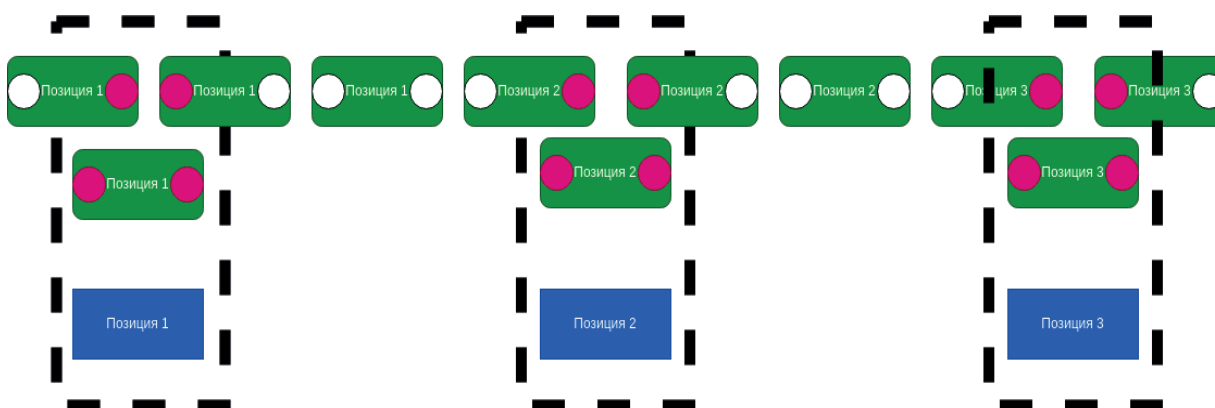


Рис. 10. Логика счета энкодера

0: Определение направления движения до заданной точки, если:

- целевая позиция больше нуля и не равна текущей;
- текущая позиция меньше целевой и разрешено двигаться вправо, перейти к шагу 1;
- текущая позиция больше целевой и разрешено двигаться влево, перейти к шагу 5.

1: Едем вправо до заданной точки на быстрой скорости

– автооператор движется вправо на высокой скорости;

- если текущая позиция входит в зону торможения (текущая позиция  $\geq$  целевая позиция - 1), перейти к шагу 2;

– Если нет разрешения двигаться вправо, перейти к шагу 0.

2: Едем вправо до заданной точки на низкой скорости

- автооператор движется вправо на медленной скорости;
- если датчик позиции активируется и



текущая позиция равна целевой, перейти к шагу 0;

– если автооператор проехал целевую позицию, перейти к шагу 3;

– если нет разрешения двигаться вправо, перейти к шагу 0.

3: Ожидание перед движением влево

– ожидание заданного времени перед движением влево;

– если разрешено двигаться влево, перейти к шагу 4;

– если нет разрешения двигаться влево, перейти к шагу 0.

4: Доводим до нужной точки позиции слева

– автооператор движется влево на медленной скорости;

– если датчик позиции активируется и текущая позиция равна целевой, перейти к шагу 0;

– если автооператор проехал целевую позицию, перейти к шагу 0;

– если нет разрешения двигаться влево, перейти к шагу 0.

5: Едем влево до заданной точки на быстрой скорости

– автооператор движется влево на высокой скорости;

– если текущая позиция входит в зону торможения (текущая позиция  $\leq$  целевая позиция + 1), перейти к шагу 6;

– если нет разрешения двигаться влево, перейти к шагу 0.

6: Едем влево до заданной точки на низкой скорости

– автооператор движется влево на медленной скорости;

– если датчик позиции активируется и текущая позиция равна целевой, перейти к шагу 0;

– если автооператор проехал целевую позицию, перейти к шагу 7;

– если нет разрешения двигаться влево, перейти к шагу 0.

7: Ожидание перед движением вправо

– ожидание заданного времени перед движением вправо;

– если разрешено двигаться вправо, перейти к шагу 8;

– если нет разрешения двигаться вправо, перейти к шагу 0.

8: Доводим до нужной точки позиции справа

– автооператор движется вправо на медленной скорости;

– если датчик позиции активируется и текущая позиция равна целевой, перейти к шагу 0;

– если автооператор проехал целевую позицию, перейти к шагу 0;

– если нет разрешения двигаться вправо, перейти к шагу 0.

Шаги работы включения быстрой остановки частотного преобразователя по датчику позиции:

0: Быстрая остановка выключена

– быстрая остановка отключена;

– условия для перехода на шаг 1:

– если текущая позиция равна целевой, включен левый датчик счета позиции, не включен правый датчик и автооператор движется вправо;

– или если текущая позиция меньше целевой позиции плюс одна, включен правый датчик, не включен левый датчик и автооператор движется влево;

– при выполнении одного из условий, перейти на шаг 1.

1: Быстрая остановка включена

– включаем быструю остановку.

Если частотный преобразователь не работает, перейти на шаг 0.

*Выводы*

Результаты испытаний показали, что использование системы из линейного инкрементального энкодера, двухканального индуктивного энкодера с счетчиком импульсов, индуктивного датчика позиции позволяет установить менее мощный ПЛК для управления этой системой. Предложенная схема передачи сигналов управления позволяет установить более дешевые частотные преобразователи. Все это облегчает монтаж и пуско-наладку системы, что в об-

шем позволяет удешевить гальваническую линию и упростить ее дальнейшее обслуживание. Система продемонстрировала

высокую точность и надежность работы в условиях промышленного производства.

#### Список литературы

1. What is an Encoder: Understanding the Basics and Beyond [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.wevolver.com/article/what-is-an-encoder> (дата обращения: 27.07.2024).
2. Inductive encoder: accurately measure displacement in harsh conditions [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.sentech.nl/en/news/inductive-encoder-accurately-measure-displacement-in-harsh-conditions> (дата обращения: 27.07.2024).
3. Position Sensors for Industrial Applications Based on Electromagnetic Encoders [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/350868046\\_Position\\_Sensors\\_for\\_Industrial\\_Applications\\_Based\\_on\\_Electromagnetic\\_Encoders](https://www.researchgate.net/publication/350868046_Position_Sensors_for_Industrial_Applications_Based_on_Electromagnetic_Encoders) (дата обращения: 27.07.2024).
4. Incremental Encoder [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/incremental-encoder> (дата обращения: 27.07.2024).
5. Position Sensors for Industrial Applications Based on Electromagnetic Encoders [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8069193/> (дата обращения: 27.07.2024).
6. Encoders Guide [Электронный ресурс]. <https://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/encoder-guide.php> (дата обращения: 27.07.2024).
7. Actuators and Sensors: Encoders [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.me.iitb.ac.in/~ramesh/courses/ME423/Encoders.pdf> (дата обращения: 27.07.2024).
8. Comparing Technologies: Optical Encoders VS Hall Effect Sensors [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.progressiveautomations.com/blogs/news/comparing-technologies-optical-encoders-vs-hall-effect-sensors> (дата обращения: 27.07.2024).
9. What is the Difference between Absolute and Incremental Encoders? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.realpars.com/blog/absolute-vs-incremental-encoder> (дата обращения: 27.07.2024).
10. Optical Encoders [Электронный ресурс]. – URL: [http://engineering.nyu.edu/mechatronics/Control\\_Lab/Criag/Craig\\_RPI/SenActinMecha/S&A\\_Optical\\_Encoders.pdf](http://engineering.nyu.edu/mechatronics/Control_Lab/Criag/Craig_RPI/SenActinMecha/S&A_Optical_Encoders.pdf) (дата обращения: 27.07.2024).
11. Resolution, Accuracy, and Precision of Encoders [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/36364-resolution-accuracy-and-precision-of-encoders> (дата обращения: 27.07.2024).
12. Rotary Encoders - Taking the Mystery Out of Using Rotary Encoders [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ezautomation.net/industry-articles/rotary-encoders.htm> (дата обращения: 27.07.2024).
13. Electromagnetic Encoders Screen-Printed on Rubber Belts for Absolute Measurement of Position and Velocity [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/5/2044> (дата обращения: 27.07.2024).

УДК 656.13  
УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ  
ИНФРАСТРУКТУРОЙ НА ОСНОВЕ  
ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

TRANSPORT INFRASTRUCTURE  
MANAGEMENT BASED  
ON DIGITAL TWINS

*Николаева Р.В., к.т.н., доцент кафедры  
«Цифровые дорожные технологии»;  
E-mail: nikolaeva1@bk.ru;  
Валиев Р.Ф., магистрант, ФГБОУ ВО  
«Казанский государственный архитектурно-  
строительный университет»,  
г. Казань, Россия*

*Nikolaeva R.V., candidate of technical sciences,  
associate professor of the Department of Digital  
Road Technologies;  
E-mail: nikolaeva1@bk.ru;  
Valiev R.F., undergraduate student, Kazan State  
University of Architecture and Engineering,  
Kazan, Russia*

#### Аннотация

Транспортная инфраструктура является важным элементом для развития любого государства. Управление транспортной инфраструктурой является важнейшей составляющей ее развития. В современных условиях применяются новые инструменты для управления транспортной инфраструктурой, к одним из них можно отнести технологии цифровых двойников. Цифровые двойники используют для решения разнообразных задач. Цель исследования заключается в изучении возможностей цифровых двойников транспортной инфраструктуры. В статье рассмотрен мировой опыт применения цифровых двойников для управления транспортной инфраструктурой. Исследование показало, что управление транспортной инфраструктурой на основе современных технологий позволяет решать большой комплекс задач на протяжении всего жизненного цикла объектов транспортной инфраструктуры.

**Ключевые слова:** транспортная инфраструктура, дороги, мосты, цифровые двойники, управление транспортной инфраструктурой

#### Abstract

Transport infrastructure is an important element for the development of any state. The management of transport infrastructure is an essential component for its development. In modern conditions, new tools are being used to manage transport infrastructure, one of them is digital twin technologies. Digital doubles are used to solve a variety of tasks. The purpose of the study is to explore the possibilities of digital counterparts of the transport infrastructure. The article examines the global experience of using digital twins for transport infrastructure management. The study showed that the management of transport infrastructure based on modern technologies allows solving a large range of tasks throughout the entire life cycle of transport infrastructure facilities.

**Keywords:** transport infrastructure, roads, bridges, digital twins, transport infrastructure management

Транспортная инфраструктура имеет большое значение в развитии любого государства. Состояние транспортной инфраструктуры влияет на своевременность и безопасность доставки грузов и пассажиров. С учетом наблюдаемого роста населения и урбанизации, увеличения уровня автомобилизации возникает спрос на транспортную инфраструктуру [6, 8].

Развитие транспортной инфраструктуры

в современных условиях требует строительства новых дорог, реконструкции существующих, а также необходимо уделять большое внимание существующим автомобильным дорогам.

Для реализации проектов развития транспортной инфраструктуры необходимо организовать такой процесс, как управление транспортной инфраструктурой, который включает в себя деятельность

по проектированию, строительству и содержанию объектов транспортной инфраструктуры.

Основной целью управления транспортной инфраструктурой является повышение мобильности участников дорожного движения, обеспечение безопасности дорожного движения и содействие экономическому развитию страны.

Для решения сложных задач в дорожно-транспортной отрасли сегодня привлекаются современные инновационные технологии [7, 10]. Одним из способов решения проблем в управлении транспортной инфраструктурой является использование передовых технологий, таких как цифровые двойники.

Сегодня нет точного определения, что такое цифровые двойники. Можно найти большое количество определений этого понятия, далее представлены некоторые из них [11].

Цифровой двойник – это динамическая программная модель физического объекта или системы, которая опирается на данные для понимания взаимосвязей между компонентами, составляющими моделируемый объект/систему, и реальным контекстом, в котором он функционирует (Gartner).

Цифровой двойник – это виртуальное представление физического объекта, систе-

мы или процесса, которое может использоваться для мониторинга и управления объектом, системой или процессом в режиме реального времени (Национальный институт стандартов и технологий (NIST)).

Цифровой двойник – это виртуальная модель физического объекта или системы, которая может использоваться для мониторинга и оптимизации работы реального аналога (Siemens).

Цифровой двойник – это динамическое цифровое представление физического актива, процесса или системы, которое позволяет получать информацию на основе данных для улучшения процесса принятия решений и стимулирования инноваций (Microsoft).

В рамках транспортной инфраструктуры можно сказать, что цифровые двойники – это цифровые копии физических активов, таких как дороги, мосты и железные дороги, которые используются для моделирования и анализа производительности активов в режиме реального времени [1, 9].

На данный момент уже имеется опыт применения цифровых двойников при управлении объектами транспортной инфраструктурой. В табл. 1 представлены объекты, по которым создавались цифровые двойники, с указанием цели и полученных результатов.

Таблица 1

**Мировой опыт применения цифровых двойников объектов транспортной инфраструктуры**

№ п/п	Страна, объект	Цель использования цифрового двойника	Результат использования цифрового двойника
1	Италия, восстановление обрушившегося моста	Создание проекта обрушившегося моста. Проведение параллельно процессов по проектированию и строительству.	1. Создана база данных по конструктивным элементам моста. 2. Налажена взаимосвязь между специалистами междисциплинарной проектной группой. 3. Уменьшились сроки и затраты на этапе проектирования.

2	Китай, строительство скоростной авто- магистрали	Модернизация про- цессов строительства. Управление жизнен- ным циклом объекта.	1. Выявлены проблемные участки на этапе проектирования. 2. Уменьшились трудозатраты и сроки на этапе проектирования. 3. Уменьшились сроки и затраты на этапе строительства.
3	Китай, реконструкция дорог в городе	Организация плавного движения на транс- портных узлах. Проек- тирование безопасной системы пешеходных переходов.	1. Выявлены проблемные участки на этапе проектирования. 2. Налажена взаимосвязь между специалистами междисциплинарной проектной группой. 3. Разработана стратегия по минимизации воздействия строительных работ на дорожное движение.
4	США, дорожный кори- дор	Создание единого про- екта для проектирова- ния и строительства.	1. Уменьшились сроки создания проекта. 2. Реализованы новые идеи на этапе проектирования. 3. Уменьшились сроки и затраты на этапе строительства. 4. Оптимизирована работа транспортных потоков. 5. Повысилась безопасность всех участников дорожного движения.
5	Малайзия, проектирование, строительство и эксплуатация шоссе	Создание единого про- екта для проектирова- ния, строительства и эксплуатации.	1. Учтены государственные стан- дарты страны при проектировании, строительстве и эксплуатации. 2. Обеспечена максимальная эффек- тивность управления активами.
6	Россия, скоростная авто- магистраль М-11	Создание условия для движения беспилотно- го транспорта. Информирование участников дорожного движения о дорожных условиях.	1. Создана база данных параметров автомагистрали и дорожных условий на всем ее протяжении. 2. Создан центр управления автомагистрали, отслеживающий движение беспилотного транспорта.

Примеры цифровых двойников, используемых при управлении транспортной инфраструктурой, представлены на рис. 1-5.



Рис. 1. Цифровая модель моста Моранди через реку Полчевера в Генуе, Италия [4]



Рис. 2. Цифровая модель скоростной автомагистрали Мэйтан-Шицян, Китай [3]



Рис. 3. Цифровая модель дороги г. Чэнду, Китай [3]

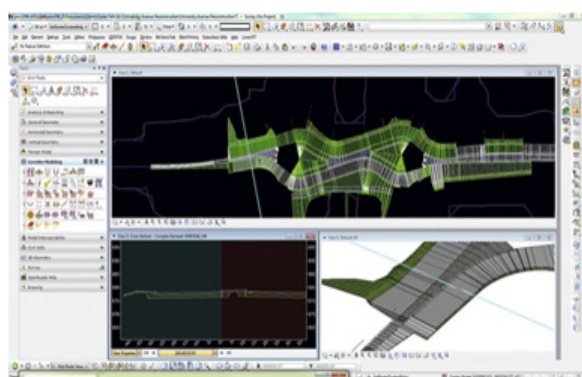


Рис. 4. Цифровая модель дорожного коридора в Сидар-Фолс, штат Айова, США [2]

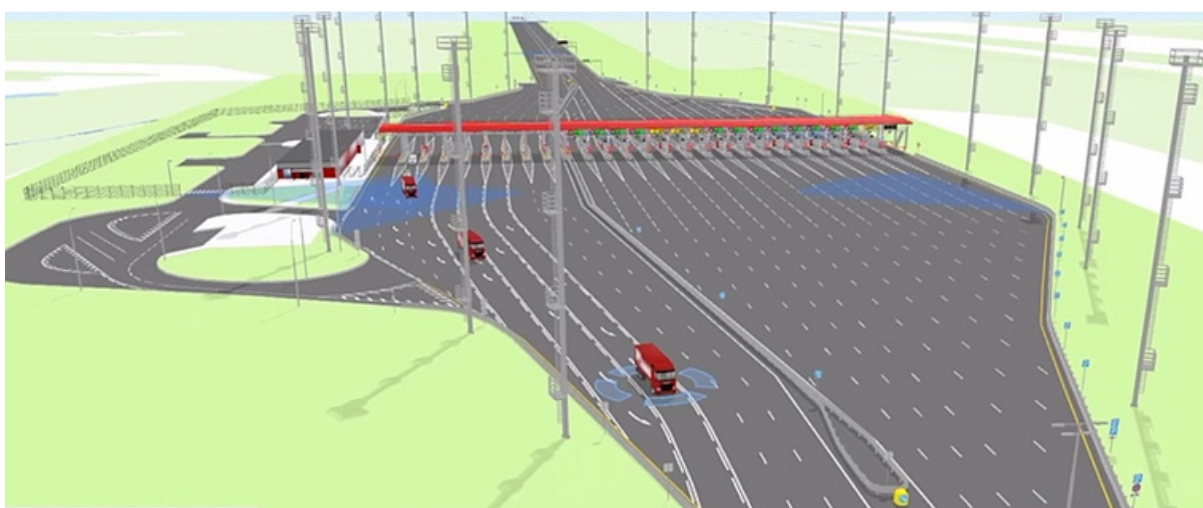


Рис. 5. Цифровая модель скоростной автомагистрали М-11, Россия [5]

Исследование мирового опыта применения цифровых моделей для управления транспортной инфраструктурой показывает большие возможности их применения на всем жизненном цикле объектов транспортной инфраструктуры от проектирования до строительства и эксплуатации.

Анализ показал, что цифровые двойники объектов транспортной инфраструктурой помогают решать большой спектр задач, к ним относятся:

- оптимизация процессов проектирования, которая помогает снизить сроки на этапе проектирования, повышает качество принимаемых решения, дает возможность апробировать новые решения;

- оптимизация процессов строительства, которая способствует снижению стоимости строительства работ и сокращению сроков;

- оптимизация процессов эксплуатации, которая повышает пропускную способность дорог, безопасность участников дорожного движения, формирует доступность объектов транспортной инфраструктуры.

#### *Заключение*

В статье представлен мировой опыт применения технологии цифровых двойников для управления транспортной инфраструктурой.

#### **Список литературы**

1. Бойков, В. Н. Цифровая автомобильная дорога как отраслевой сегмент цифровой экономики / В. Н. Бойков, А. В. Скворцов, Д. С. Сарычев // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2018. – №2 (75). – С. 56-60.
2. Города используют Цифровые двойники, чтобы эффективно внедрять технологии BIM и ГИС, тем самым повышая качество жизни своих граждан // САПР и графика. – 2020. – № 3 (281). – С. 4-10.
3. Достижения BIM и Цифровые двойники оптимизируют проектирование и строительство скоростной автомагистрали Мэйтань – Шицян в Китае // САПР и графика. – 2020. – № 6 (284). – С. 4-6.
4. Использование Цифровых двойников в дорожной отрасли: от концепции до эксплуатации // САПР и графика. – 2022. – № 3 (305). – С. 10-13.
5. На М-11 показали первый в России высокоточный цифровой двойник магистральной трассы – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6043643> (дата обращения: 10.06.2024).
6. Тавапов, Р. И. Применение цифровых технологий в благоустройстве автомобильных дорог / Р. И. Тавапов, М. И. Львова // Умная цифровая экономика. – 2022. – №4. – С. 75-78.

7. Хафизов, Э. Р. Сравнение и анализ эффективности применения программных комплексов в области управления состоянием автомобильных дорог на примере дорожной сети Республики Татарстан / Э. Р. Хафизов, Г. Ш. Малахова // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. – 2023. – № 2 (2). – С. 70-77.

8. Шаймарданова, К. А. Условия для развития городской застройки, ориентированной на общественный транспорт / К. А. Шаймарданова, Е. И. Прокофьев, А. М. Сулейманов // Известия КГАСУ. – 2023. – № 3 (65). – С. 234-242.

9. Bazan A.M., Alberti M.G., Alvarez A.A., Trigueros J.A. New perspectives for BIM usage in transportation infrastructure projects. Appl. Sci. 2020; 10(20): P. 1-22. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10207072>. (in Madrid).

10. Kumar S.A.P., Madhumathi R., Chelliah P. R., Tao L., Wang S. A novel digital twincentric approach for driver intention prediction and traffic congestion avoidance. Journal of Reliable Intelligent Environments. 2018; № 4: P. 199-209. DOI: 10.1007/s40860-018-0069-Y. (in USA).

11. Liu M., Fang S., Dong H., Xu C. Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications. Journal of Manufacturing Systems. 2020; № 58: P. 346-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.017>. (in China).

**УДК 004.942**

**ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ –  
ИДЕОЛОГИЯ, ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**DIGITAL TWINS – IDEOLOGY,  
EXPERIENCE AND PROSPECTS**

*Попов И.А., д.т.н., профессор кафедры теплотехники и энергетического машиностроения, руководитель лаборатории моделирования физико-технических процессов, член-корреспондент АН РТ, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»;*

*Гуреев В.М., д.т.н., профессор, помощник начальника управления научно-исследовательских работ ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань;*

*Макаров Е.Г., главный конструктор ПАО «КАМАЗ», директор научно-технического центра (НТЦ);*

*Куликов А.С., главный конструктор по двигателям;*

*Андрянов С.М., руководитель конструкторско-исследовательской группы расчетных исследований двигателей службы главного конструктора по двигателям НТЦ ПАО «КАМАЗ», г. Набережные Челны, Россия*

*Popov I.A., doctor of technical sciences, Professor of the Department of Thermal Engineering and Power Engineering, Head of the Laboratory for Modeling Physical and Technical Processes, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI;*

*Gureev V.M., doctor of technical sciences, Professor, Assistant Head of the Research and Development Department; Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan;*

*Makarov E.G., Chief Designer of PJSC KAMAZ, Director of the Science and Technology Centre (STC);*

*Kulikov A.S., chief engine designer;*

*Andriyanov S.M., Head of the Engine Design and Research Group of the Chief Engine Designer Service of the Engine Design Centre of PJSC KAMAZ, Naberezhnye Chelny, Russia*

**Аннотация**

В статье представлены методология создания цифровых двойников, их структура и назначение, а также показаны некоторые результаты выполнения работ по созданию цифровых двойников двигателей автотранспортных средств.

**Ключевые слова:** цифровые двойники, компьютерное моделирование, модель, тепло-массообмен, аэродинамика



**Abstract**

This article presents the methodology for creating digital twins, their structure and purpose, and also shows some of the results of the work on creating digital twins of motor vehicle engines.

**Keywords:** digital twins, computer modeling, model, heat and mass transfer, aerodynamics

*Введение*

В современных условиях индустриальной революции 4.0 разработка и создание новых образцов техники, обладающих высокими экономическими, экологическими показателями и энергоэффективностью, значительно ускоряются. Этому способствует также высокая конкурентная борьба разработчиков и все больший переход на технологическую самостоятельность стран мира.

В основе работы лежит концепция создания цифровых двойников изделия (DT – digital twin) – цифровой копии объекта, в которой воплощены все физические (теплообменные, термодинамические, кинематические, гидравлические и прочие) процессы в объекте и вокруг него [1-4]. Согласно [5], DT должен иметь двустороннюю связь с объектом. DT – это система САД и математических моделей, описывающая форму, размеры, структуру, функциональность объекта, взаимосвязь узлов и агрегатов внутри объекта, его режимы работы, изменение рабочих параметров. DT строится как для прототипа изделия, так и для реального изделия. В обоих случаях DT подвергается виртуальным испытаниям. В случае построения ВЕ для реального объекта необходимо иметь набор электронных протоколов испытаний или прямую связь с объектом во время эксплуатации для оценки соответствия построенной DT предъявляемым к изделию требованиям по рабочим параметрам (валидация и верификация) [5].

Переход с натурального образца на цифровой аналог на стадии проектирования и первичных испытаний позволяет выявлять проблемы функционирования объекта без дорогостоящих и длительных натуральных испытаний и производить доводку объ-

екта с целью повышения его эффективности, проверки технических решений, повышения надежности эксплуатации и разработки технологии производства. Одним из главных преимуществ перехода на DT является возможность проведения цифровых (виртуальных) испытаний для определения количественных и качественных характеристик объекта [5]. Это значительно снижает трудозатраты и затраты времени на разработку новых объектов, определение их рабочих характеристик и технико-экономическое обоснование применяемых новых технических решений и вариантов модернизации.

Для построения DT в работе используется программное обеспечение (далее – ПО) построения и обработки конструкторских и технологических документов Siemens NX и SolidWorks. Численное моделирование процессов гидрогазодинамики и тепломассопереноса производится в ПО Ansys Fluent и CFX, OpenFoam, Логос. Для моделирования кинематических схем механизмов объекта используются MatLAB Simulink, ANSYS Mechanical, IES VE, Energy Plus; а при решении задач прочности – LS-DYNA, ANSYS и MD NASTRAN. Для моделирования задач акустики предложено использовать ПО DIRAC и Ansys Fluent, а при моделировании процессов переноса в твердых телах и структурной механики – ПО Comsol, BSim, Delphin 5, HAMLab, ANSYS.

Как средство управления проектом (средства сбора, обработки, анализа, хранения, передачи результатов компьютерного моделирования, средства отслеживания конструкторских решений, модификации компьютерных моделей и вариантов инженерных расчетов), организации совместной работы участников проекта и защиты

данных используется PLM Kamotive на базе ПО Siemens.

Согласно [1, 2, 6], при использовании ДТ мы реализуем идею виртуальных разработок, их тестирования, модернизации и сопровождения в рамках комплексного междисциплинарного подхода к решению задачи создания нового продукта (объекта). При создании ДТ должна реализоваться главная идея прямой связи ДТ с объектом – его работоспособность должна обязательно подтверждаться результатами натурных испытаний объекта-аналога. Для этих целей при создании ДТ и его тестировании необходимы прямые связи в виде результатов измерений параметров во время эксплуатации или натурных испытаний на различных режимах. После чего реализуется обратная связь ДТ с объектом – в ДТ вносятся новые конструктивные и функциональные изменения, которые после виртуальных испытаний и подтверждения передаются на производство для создания новой реальной конструкции.

ДТ – это математические модели высокого уровня адекватности, которые позволяют описывать с высокой степенью точности поведение объекта во всех ситуациях и на всех этапах жизненного цикла, включая аварийные ситуации. Их основная цель – без разрушения натурального объекта в ходе испытаний выявлять критические области и параметры, которые необходимо модернизировать для повышения надежности функционирования и эффективности объекта или его отдельных узлов и агрегатов [6].

Еще одним преимуществом создания и использования ДТ является глубокий анализ протекающих процессов, особенно быстропротекающих, которые на натуральных объектах невозможно измерить или провизуализировать, но необходимых для понимания уровней значений отдельных показателей натуральных объектов при их эксплуатации.

#### *Особенности и подходы при создании цифрового двойника*

В качестве примера объекта для разработки ДТ могут рассматриваться газопоршневые двигатели, созданные на базе серийных дизельных рядных 6-цилиндровых двигателей с объемом 6, 7, 8, 9 и 12 литров мощностью 300-450 л.с.

При разработке ДТ двигателя проводилась его декомпозиция на системы, узлы и агрегаты для отдельного анализа их работы. Впоследствии результаты анализа особенностей работы одной системы могли служить основой для расчета и анализа другой. В качестве основных систем, узлов и процессов выделялись: система охлаждения двигателя и его тепловое состояние, помпа системы охлаждения, система подачи воздуха, цилиндропоршневая группа и внутрикамерные процессы, кривошипно-шатунный механизм, система отвода газов, турбокомпрессор, система смазки и маслоохладитель, подкапотное пространство для двигателя с вентилятором и радиаторами и т.д. (рис. 1).

Известно, что ДТ классифицируются по уровням взаимодействия численной модели объекта исследования с натурными условиями [1, 3, 4, 7-9].

Цифровой двойник прототипа (DTP) – это тип ДТ, который создается не для реального объекта, а для прототипа физического объекта (самого реального объекта еще нет, а имеются только требования к его параметрам). В этом случае мы создаем ДТ пока не существующего объекта для последующих виртуальных испытаний с целью проверки его работоспособности, прогнозирования его рабочих характеристик, технико-экономического обоснования правильности принятых технических решений при его создании. Обычно DTP создается на базе ДТ, при внесении в последний новых технических решений.

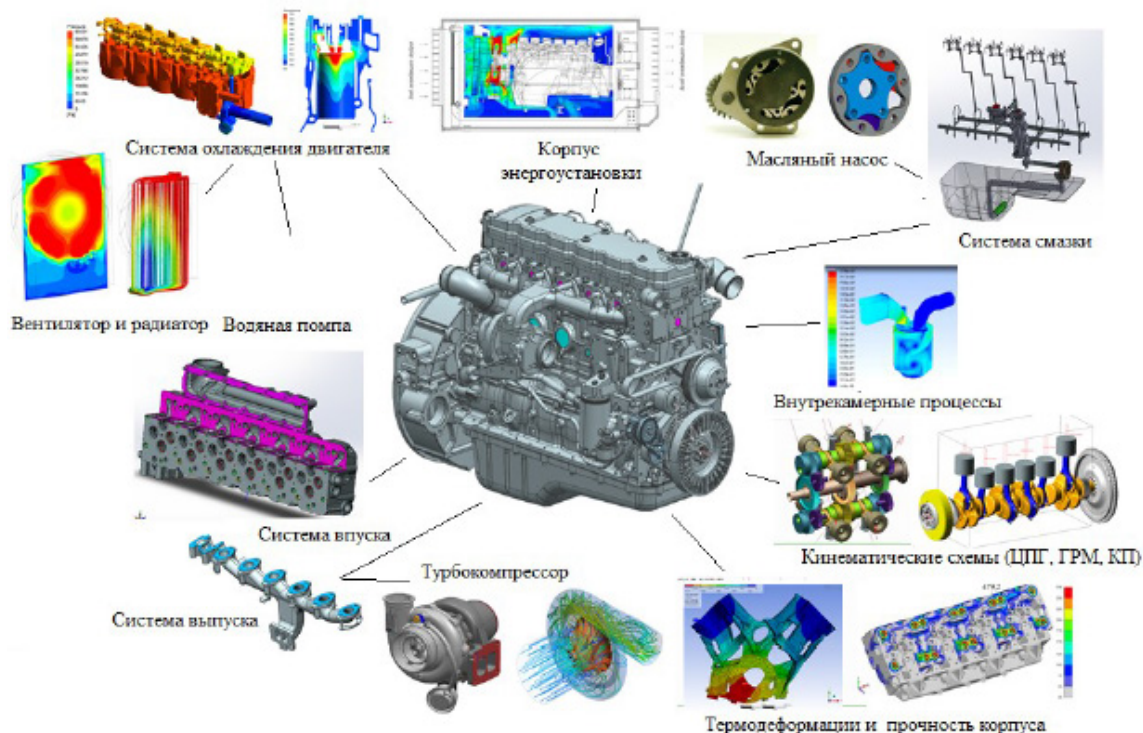


Рис. 1. Декомпозиция двигателя газопоршневой энергоустановки

Цифровой двойник изделия (ДТИ) – тип ДТ, описывающий конкретный существующий физический объект. Т.е. мы создаем ДТ объекта, для которого имеется вся информация по натурным испытаниям или он имеет прямую связь с датчиками во время испытаний или эксплуатации. Мы можем проверить адекватность ДТИ на основе реальных данных испытаний или эксплуатации. В этом случае ДТИ служит для «визуализации» процессов в объекте, их глубокого понимания и анализа на основе анализа локальных и мгновенных значений параметров. Кроме этого, ДТИ может быть создан на основе аналога объекта, на котором проверяется адекватность заложенных моделей, а затем объект модернизируется или оптимизируется для создания нового объекта на базе существующего, и таким образом, ДТ переходит с уровня ДТИ на уровень ДТР нового, модернизированного объекта.

Совокупность цифровых двойников (ДТА) – тип ДТ, который содержит в себе совокупность взаимосвязанных по параметрам ДТИ или ДТР. Сюда же относится ДТ в

окружающей среде (ДТЕ) – это ДТИ, совмещенный с большим объемом внешних параметров окружающей среды – природных параметров, эксплуатационных характеристик, весогабаритных параметров и т.д.

Первоначально строятся ДТИ отдельных систем и агрегатов двигателя на основе физико-математического моделирования процессов переноса вещества и теплоты, термомодеформированного состояния и прочности реального объекта-аналога, с которым ДТИ может иметь прямую связь. Прямая связь может осуществляться за счет снятия сигналов при прямых измерениях параметров и их «проводной» передачи в ДТИ или в виде файлов больших данных, записанных на носителе и подвергавшихся первичной обработке или восстановлению промежуточных данных за счет одномерного или нейросетевого моделирования. Чаще реализуется второй вариант передачи данных в ДТИ от реального объекта-аналога. После проверки работоспособности ДТИ объекта-аналога (этап реинжиниринга) и выявления на нем недостатков конструкции и режимов работы вносятся конкретные тех-

нические решения и рекомендации – модель объекта модернизируется и переходит с уровня DTI уровень DTP. После этого на DTP производятся виртуальные испытания и восстановление характеристик прототипа нового изделия или, при обосновании

улучшения характеристик объекта, он направляется на разработку конструкторской документации (далее – КД), изготовление, натурные испытания и внедрение в производство. Схема построения разработки PD и их исследований показана на рис. 2.

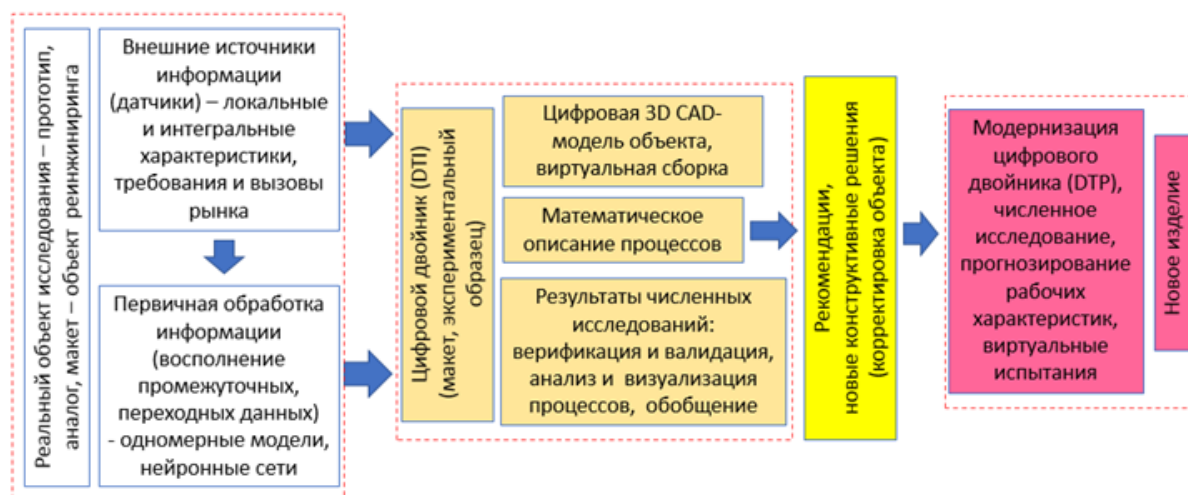


Рис. 2. Схема разработки DTI/DTP при создании новых образцов техники

Ранее мы указывали, что DT строится на физико-математических моделях процессов. Но они могут оказаться настолько сложны, что их интеграция в DT приводит к значительным временным затратам при численном моделировании процессов. Недостатки современных математических моделей сложных процессов, например, аэрогидродинамики или теплообмена, можно решить, упростив их за счет применения адаптивных самообучающихся методов, в частности нейросетевых технологий. Использование нейросетевых методов позволяет создать DT, работающий в реальном времени, т.е. мы можем получать ответные сигналы из модели, при известных входных сигналах, практически моментально. Но нейросетевые модели часто не описывают конкретные процессы, а работают на подборе поправочных коэффициентов, полученных для конкретных случаев в ходе обучения нейросетевой модели.

Поэтому предлагается использовать DTI, построенный на численном моделировании всех узлов и агрегатов изделий, процессов их работы. Это значительно

«утяжеляет» модель и не позволяет работать в режиме реального времени, но решает основную задачу DT – виртуально проектировать новый объект, виртуально его испытывать, проводить технико-экономическое обоснование принимаемых технических решений при минимизации затрат времени и финансов.

DT двигателя состоит из 3D CAD-модели, математической модели всех процессов работы узлов и агрегатов, набора режимных параметров и условий эксплуатации, критериев оптимальной эксплуатации. Весь набор данных и моделей позволяет точно воспроизводить работу двигателя энергетической установки.

Перед началом работ с DT двигателя проводится обязательная валидация и верификация его работы в базовой комплектации на номинальных режимах. Основой для валидации является физичность процессов и сохранение балансовых соотношений расходов, тепловых потоков и т.д., а для верификации – результаты натурных испытаний аналогов двигателей на испытательных стендах (рис. 3). Так как процес-

сы в двигателе быстропротекаемые, что не позволяет измерить некоторые локальные или моментальные параметры, то для восполнения данных в промежуточных точках различных режимов работы объекта восполнялись за счет одномерного моделирования с использованием ПО AVL Boost. При достижении точности не ниже 95% DT передается для моделирования нерасчетных режимов, модификации и проверки технико-экономической адекватности принимаемых решений.

Цель работы в области DT – разработка наукоемких DTI базовых моделей узлов и агрегатов автотранспортных систем для создания на их основе DTP новых технических решений

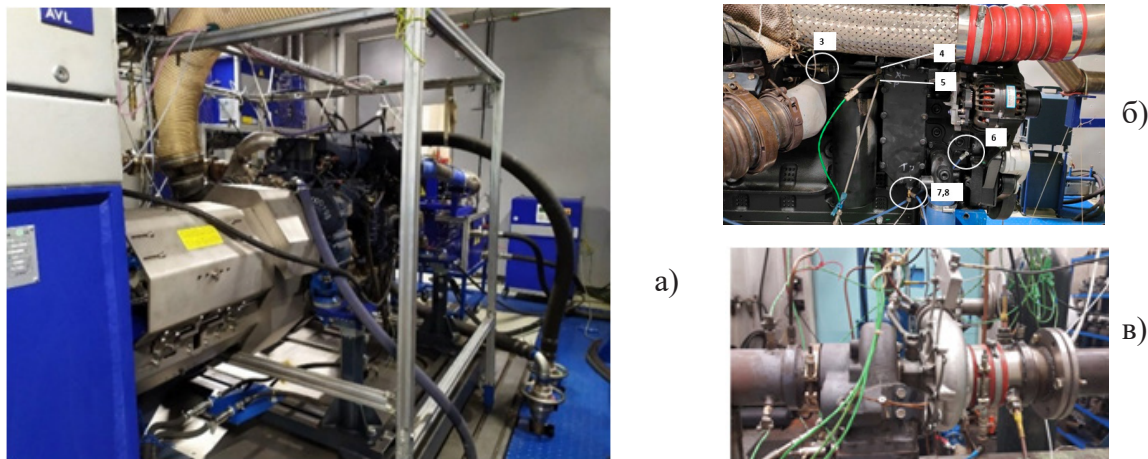


Рис. 3. Системы сбора первичных данных для построения DT на испытательном стенде (а) с системой датчиков (б) и на стенде натурных испытаний турбокомпрессоров (в)

Примеры разработки DT двигателей транспортных средств приведены в [10, 11].

При выполнении работ решаются и научные задачи:

- апробация новых моделей турбулентности для нового класса задач (SST-модель Менстера 2013 года, GeKO-модель 2019 года с выбором коэффициентов переноса с использованием искусственных нейронных сетей);

- расширение области применимости модели пористого тела за счет подбора коэффициентов сопротивления на основе результатов экспериментальных исследо-

и их виртуальных испытаний (рис. 4).

В целом необходимо отметить, что основные задачи при создании цифрового двойника чаще всего связаны с численным исследованием течений и теплообмена неоднородных сред (учет турбулентности, завихренности потока, смешения сред, дробления и коагуляции, неизотермичности, фазовых переходов, физико-химические превращения) в каналах сложной, разветвленной или изменяющейся форм. Также необходимо отметить, что сегодня происходит переход от сопряженных задач гидродинамики и теплообмена к связанным задачам, совместно учитывающим гидродинамику, теплообмен и задачи прочности.

ваний при моделировании теплогидравлических характеристик теплообменного оборудования;

- использование динамических, перекрывающихся и скользящих расчетных секток, а также подхода погруженного тела;

- моделирование теплообменных процессов в двухфазных течениях и со свободной поверхностью: VOF-модель, Эйлерава модель, модель смеси, гибридные модели;

- модификация моделей горения;

- обучение нейронных сетей на основе экспериментальных данных для использования их для замыкания физико-математических моделей сложных процессов.



Рис. 4. Схема реализации проекта по разработке цифровых двойников изделия-аналога турбокомпрессора дизельного двигателя и построения на его основе нового изделия с улучшенными характеристиками

#### Заключение

В ходе работы показано, что:

- использование технологии цифровых двойников приводит к экономии трудозатрат, времени и финансовых средств на освоение новой техники;
- позволяет проводить масштабирование технических решений и результатов новейших научных исследований;
- возможно создание Benchmarks (эталонных решений) для последующих исследований, в том числе для героторного насоса, радиаторов и т.д.);
- использование технологии цифровых двойников позволяет кастомизировать

(адаптировать) расчетные модели и методы под новые классы сложных задач;

- проведена верификация и валидация новых моделей, методов и подходов на новом классе сложных задач, нерасчетных ранее;
- использование цифрового двойника двигателя автотранспортного двигателя позволяет распознать критические области и параметры эксплуатации, внести изменения в конструкцию, провести модернизацию и выйти на новое изделие, отличающееся надежностью и эффективностью, провести его виртуальные испытания, подтвердить заявленные параметры.

#### Список литературы

1. Grieves, M.W. Digital Twins: Past, Present, and Future. In The Digital Twin. Edrs.: N. Crespi, A.T. Drobot, R. Minerva. – Springer, 2023. – P. 97-121.
2. Grieves, M. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. / M. Grieves, J. Vickers. – In Transdisciplinary Perspectives and Complex Systems: New Findings and Approaches. Edrs: F.J. Kahlen, S. Flumerfelt, A. Alves. – Springer, 2017 – P. 85-113.
3. Боровков, А. И. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Краткий доклад / А. И. Боровков, А. А. Гамзикова, К. В. Кукушкин, Ю. А. Рябов. – Санкт-Петербург : Политех-Пресс, 2019. – 62 с.
4. Блинов, В. Л. Цифровые двойники турбомашин / В. Л. Блинов, С. В. Богданец; М-во науки и высш. образования РФ. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. – 162 с.

5. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – Москва : Росс. инст-т стандартизации, 2021. – 15 с.
6. Боровков, А. И. Цифровые двойники: вопросы терминологии / А. И. Боровков, Ю. А. Рябов, Л. А. Щербина, А. А. Гамзикова. – Санкт-Петербург : Политех-Пресс, 2021. – 28 с.
7. Кокорев, Д. С. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса / Д. С. Кокорев, А. А. Юрин // Collocvium-Journal. – №10. – Т. 34. – 2019. – С. 31-35.
8. Дозорцев, В. М. Цифровые двойники в промышленности: жизнь после Хайпа / В. М. Дозорцев // Автоматизация в промышленности. – 2023. – №12. – С. 3-9.
9. Прохоров, А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / А. Прохоров, М. Лысачев. Под ред. А. Боровкова. – Москва : ООО АльянсПринт, 2020. – 401 с.
10. Гуреев, В. М. Цифровые двойники – основа принятия оптимальных технических решений и повышения финансовой эффективности разработок / В. М. Гуреев, Ю. Ф. Гортышов, И. А. Попов, Е. Г. Макаров, А. С. Куликов // Международный форум Kazan Digital Week – 2023: сборник материалов / Сост.: Р. Ш. Ахмадиева, Р. Н. Минниханов. – Казань : ГБУ «НЦБЖД», 2023. – Ч. 1. – С. 313-323.
11. Чорный, А. Д. Опыт создания цифровых двойников для моделирования эксплуатационных режимов транспортных систем / А. Д. Чорный, Ю. В. Жукова, Т. А. Баранова, И. Г. Кухарчук, И. А. Попов // Международный форум Kazan Digital Week – 2023: сборник материалов / Сост.: Р. Ш. Ахмадиева, Р. Н. Минниханов. – Казань : ГБУ «НЦБЖД», 2023. – Ч. 1. – С. 442-450.

УДК 656.13

**ВОСТРЕБОВАННОСТЬ  
ИСПЫТАНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ  
И ОТДЕЛЬНЫХ ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ**

**THE DEMAND FOR TESTING AND  
RESEARCH OF INTELLIGENT  
TRANSPORTATION SYSTEMS AND ITS  
INDIVIDUAL ELEMENTS**

*Свистельников А.А., начальник отдела  
научного обеспечения испытаний  
интеллектуальных транспортных систем;  
E-mail: SvistelnikovAA@rosdornii.ru;*  
*Ковешников А.А., начальник отдела  
технического обеспечения испытаний  
интеллектуальных транспортных систем;  
E-mail: KoveshnikovAA@rosdornii.ru;*  
*Феофанов В.В., заместитель начальника  
отдела технического обеспечения испытаний  
интеллектуальных транспортных систем;  
E-mail: FeofanovVV@rosdornii.ru;*  
*Малыхина П.В., главный специалист  
отдела научного обеспечения испытаний  
интеллектуальных транспортных систем  
ФАУ «РОСДОРНИИ», г. Москва, Россия;  
E-mail: MalykhinaPV@rosdornii.ru*

*Svistelnikov A.A., Head of Department of  
Scientific Support for Testing Intelligent Transport  
Systems;  
E-mail: SvistelnikovAA@rosdornii.ru;*  
*Koveshnikov A.A., Head of Department of  
Technical Support for Testing of Intelligent  
Transport Systems;  
E-mail: KoveshnikovAA@rosdornii.ru;*  
*Feofanov V.V., Deputy Head of Department  
of Technical Support for Testing of Intelligent  
Transport Systems;  
E-mail: FeofanovVV@rosdornii.ru;*  
*Malykhina P.V., Chief Specialist of Department of  
Scientific Support for Testing Intelligent Transport  
Systems FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia;  
E-mail: MalykhinaPV@rosdornii.ru*

**Аннотация**

В статье рассматривается востребованность исследований и испытаний интеллектуальных транспортных систем (далее – ИТС), в том числе направленных на обеспечение движения высокоавтоматизированных транспортных средств (далее – ВАТС).

В настоящее время в дорожно-транспортной отрасли существует мировая тенденция на повышение индивидуальной мобильности участников дорожного движения при условии обеспечения их безопасности. Наиболее передовым направлением повышения индивидуальной мобильности является массовое внедрение ВАТС. Современная концепция обеспечения безопасного и эффективного движения ВАТС по автомобильным дорогам общего пользования, в том числе – в условиях смешанного транспортного потока, предполагает обязательное взаимодействие ВАТС и ИТС с использованием цифровых двойников дороги и систем высокоточного позиционирования.

#### *Материалы и методы*

Подходы к созданию ИТС и внедрению ВАТС, закрепляемые в нормативной базе, должны быть обоснованы проведением соответствующих исследований и испытаний в условиях ограниченного или реального транспортного потока с соответствующим материально-техническим оснащением и обеспечением необходимого уровня безопасности, в том числе с использованием пилотных зон.

#### *Практическое значение*

Практическая реализация научно-исследовательских комплексов может иметь различные виды: от передвижных лабораторных комплексов до тестовых эксплуатационных зон в зависимости от поставленных целей и масштабов решаемых задач.

#### *Результаты*

Результаты деятельности в тестовых зонах должны формировать базу знаний, которая будет служить основой не только для создания нормативной правовой и нормативно-технической базы, но и для обеспечения подготовки квалифицированного персонала для работы с ИТС и ВАТС. Наиболее перспективными являются пилотные зоны, так как именно они позволяют осуществлять большинство испытательных и исследовательских сценариев.

#### *Обсуждение и заключение*

В связи с вышеописанным, ФАУ «РОСДОРНИИ» создана и развивается в соответствии с передовыми технологическими трендами – пилотная зона интеллектуальных транспортных систем в Республике Татарстан, позволяющая проводить исследования и испытания в условиях реального транспортного потока.

**Ключевые слова:** интеллектуальная транспортная система, высокоавтоматизированное транспортное средство, испытательный сценарий, пилотная зона

#### **Abstract**

This article reviews the relevance of research and testing of intelligent transport systems (hereinafter – ITS), including those aimed at operation of highly automated vehicles (hereinafter – HAV).

Currently, there is a global trend in the road transport industry to increase the individual mobility of road users, provided their safety is ensured. The most promising direction for increasing individual mobility is the mass deployment of HAV. The modern concept of ensuring safe and efficient movement of vehicles on public roads, including in mixed traffic flow, assumes mandatory interaction of vehicles and ITS, as well as the use of digital road twins and high-precision positioning systems.

Methods of ITS development and HAV deployment, stipulated in the regulatory framework, should be justified by conducting appropriate research and testing. A comprehensive study of these processes requires research and testing in conditions of limited or real traffic flow with appropriate logistical equipment and the necessary level of safety, including the use of pilot zones.



In practice research units can be implemented in number of types: from mobile laboratories to test operational zones. The choice of the configuration of research units depends on the goals set and the scale of the tasks to be solved.

The results of activities in the test areas should create a knowledge base that will serve as a foundation not only for shaping a legal and regulatory framework, but also to ensure the training of qualified personnel to work with ITS and HAVs. Pilot zones are the most promising, as they allow most test and research scenarios.

FAI «ROSDORNII» created and develops a pilot zone for intelligent transport systems in the Republic of Tatarstan, corresponding to advanced technological trends, which allows conducting research and testing of HAV's in real traffic flow.

**Keywords:** intelligent transportation system, highly automated vehicle, test scenario, pilot zone

Транспортная отрасль, безусловно, является критически важной отраслью народного хозяйства. Процессы инновационного развития и цифровизации дорожно-транспортной отрасли оказывают существенное влияние на эффективность социально-экономического развития Российской Федерации. Низкие темпы развития дорожно-транспортной отрасли способствуют увеличению системного отставания в технологическом развитии государства и, как следствие, снижению конкурентоспособности и привлекательности экономики [1].

В настоящее время в дорожно-транспортной отрасли существует мировая тенденция на повышение индивидуальной мобильности участников дорожного движения при условии обеспечения их безопасности, в том числе за счет внедрения ВАТС на автомобильных дорогах общего пользования. ВАТС, в свою очередь, могут быть применены как в коммерческих, так и в частных перевозках.

Внедрение ВАТС на автомобильных дорогах общего пользования направлено на достижение ряда положительных эффектов для экономики государства за счет снижения аварийности, числа пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях (далее – ДТП), транспортных задержек и издержек перевозчиков, экологической нагрузки от транспорта. Также внедрение ВАТС позволит обеспечить гармонизацию суточной интенсивности дорожного движения и изменит структуру занятости ра-

ботников автотранспортных предприятий. Кроме того, увеличение количества ВАТС в транспортном потоке позволит осуществлять эффективное управление транспортным потоком на улично-дорожной сети (далее – УДС) и обеспечит последующий переход от управления транспортными потоками к управлению отдельными транспортными средствами [2, 3].

Современная концепция обеспечения безопасного и эффективного движения ВАТС по автомобильным дорогам общего пользования, в том числе в условиях смешанного транспортного потока, предполагает обязательное взаимодействие ВАТС с ИТС с использованием цифровых двойников дороги и систем высокоточного позиционирования.

В настоящий момент ИТС в большей степени используется как инструмент решения прикладных задач по организации и обеспечению безопасности дорожного движения. Как следствие, для массового внедрения ИТС, в том числе направленных на обеспечение движения ВАТС, требуется дальнейшее совершенствование нормативной правовой и нормативно-технической базы, соответствующей современным тенденциям науки и технологии. Подходы к созданию ИТС и внедрению ВАТС, закрепляемые в нормативной базе, должны быть обоснованы проведением соответствующих исследований и испытаний в соответствии со следующими принципами:

– применение технологий ИТС как в

целях организации дорожного движения, так и обеспечения движения ВАТС;

- возможность проверки соответствия функциональных характеристик ИТС предъявляемым к ним нормативным требованиям;

- обеспечение интероперабельности подсистем и элементов ИТС различных производителей;

- обеспечение информационной безопасности эксплуатации элементов ИТС и ВАТС.

В общем случае процессы создания ИТС и внедрения ВАТС предполагают решение следующих важных организационно-технических задач:

- создание инновационного транспортного средства, осуществляющего движение в автоматизированном или автоматическом беспилотном режимах;

- внедрение технологий ИТС, позволяющих не только решать традиционные задачи по управлению транспортными потоками, но и обеспечивать безопасное и эффективное движение ВАТС;

- создание цифровой информационно-коммуникационной среды геопространственных данных с интегрированными системами высокоточного геопозиционирования для обеспечения движения ВАТС.

Для всестороннего изучения данных процессов требуется проведение исследований и испытаний в условиях ограниченного или реального транспортного потока с соответствующим материально-техническим оснащением и обеспечением необходимого уровня безопасности.

В области технического регулирования ИТС и ВАТС за рубежом, особенно в странах Юго-Восточной Азии, отмечается планомерная систематическая работа по созданию нормативно-технической базы для внедрения ВАТС с использованием тестовых зон для исследования оптимальных технологий обеспечения движения ВАТС и натурального подтверждения нормируемых параметров.

Основными тенденциями зарубежного нормативного регулирования являются:

- отсутствие требования по обязательному обеспечению взаимодействия автоматизированной системы вождения ВАТС с инфраструктурой ИТС;

- обязательное обеспечение взаимодействия ВАТС с системой глобальной спутниковой навигации и высокоточными цифровыми картами;

- использование различных инструментов имитации сценариев тестирования ВАТС и верификации получаемой информации;

- приоритет тестирования корректности работы внутренних систем ВАТС и выявления рисков неисправности работы отдельных систем;

- направленность испытаний ВАТС на определение и устранение причин неспособности функции автоматизированного вождения безошибочно оценить окружающую обстановку и принять решение [4, 5, 6].

В Российской Федерации техническое регулирование в области внедрения ВАТС осложнено особенностями законодательства, фактически ориентированного на применение международных стандартов в ущерб национальным. Вместе с тем, полностью или частично отсутствует правовая и нормативно-техническая база для проведения испытаний подсистем и элементов ИТС для обеспечения движения ВАТС.

Таким образом, для массового внедрения ИТС, в том числе направленных на обеспечение движения ВАТС, необходимо реализовать следующие направления деятельности:

1. Внесение изменений в технический регламент Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011) [7] и технический регламент Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011) [8] в части включения требований к ИТС и ВАТС или разработка нового

технического регламента Евразийской экономической комиссии в области регулирования ИТС и ВАТС.

2. Плановая систематическая работа по созданию национальной нормативно-технической базы для обеспечения функционирования тестовых зон ИТС и ВАТС.

3. Разработка и аттестация методов испытаний подсистем и элементов ИТС, определение требований к испытательным площадкам и средствам испытаний.

4. Обеспечение информационной безопасности и кибербезопасности ИТС и ВАТС.

5. Организация научно-технической кооперации и создание технологических цепочек разработки и внедрения инновационных технических решений в области ИТС и ВАТС с привлечением научно-технического и образовательного сообществ, разработчиков ИТС и ВАТС [9].

Все вышеописанные направления деятельности требуют формирования научно-технологического задела по результатам проведения профильных исследований и испытаний [10].

Мировая практика организации исследований, испытаний и сертификации в области ИТС и ВАТС показывает необходимость создания научно-исследовательских комплексов, основные задачи которых заключаются в экспериментальной проверке множества вероятных сценариев и технических параметров разрабатываемых технических систем, а также экспериментальной проверке ИТС и ее компонентов на работоспособность, надежность, долговечность и информационную безопасность.

Практическая реализация научно-исследовательских комплексов может иметь различные виды: от передвижных лабораторных комплексов до тестовых эксплуатационных зон. Выбор конфигурации научно-исследовательских комплексов зависит от поставленных целей и масштабов решаемых задач.

Результаты деятельности в тестовых

зонах должны формировать базу знаний, которая будет служить основой не только для формирования нормативной правовой и нормативно-технической базы, но и для обеспечения подготовки квалифицированного персонала для работы с ИТС и ВАТС.

Тестовая зона ИТС представляет собой общий случай испытательной площадки и в зависимости от условий испытаний может быть представлена в виде испытательного полигона или пилотной зоны ИТС. Основное отличие испытательного полигона от пилотной зоны состоит в том, что на полигоне условия испытаний хоть и близки к условиям эксплуатации объекта, но моделируются искусственно. Пилотная зона ИТС организуется на действующих участках автомобильных дорог, а испытания проводятся в реальных условиях.

Наиболее перспективными являются пилотные зоны, так как именно они позволяют осуществить большинство испытательных и исследовательских сценариев.

Цели создания тестовых зон ИТС можно разделить на две группы, соответствующие видам испытаний: исследовательские и определительные. В соответствии с целями тестовые зоны ИТС в общем случае предназначены для решения следующих задач:

– научные исследования по поисковым и прикладным научно-техническим направлениям в области ИТС и смежных с ней областями знаний (высокоточное геопозиционирование, цифровые карты, информационное моделирование, искусственный интеллект и другие);

– апробация существующих технологий ИТС, тестирование подсистем и элементов ИТС.

Определительные испытания проводятся для определения значений характеристик объекта с заданными значениями показателей точности и достоверности, а исследовательские – для изучения определенных характеристик свойств объекта.

Основным назначением определитель-

ных испытаний является оценка качества функционирования и натурное подтверждение соответствия значений основных параметров и характеристик оборудования требованиям нормативно-технической документации и технической документации производителя оборудования.

При проведении определительных испытаний задаются показатели точности с указанием доверительного интервала и степени статистической надежности, а также нормы достоверности и воспроизводимости.

Характеристики свойств объекта при испытаниях могут оцениваться, если задачей испытаний является получение количественных или качественных оценок, а могут контролироваться, если задачей испытаний является только установление соответствия характеристик объекта заданным требованиям.

Исследовательская деятельность направлена в первую очередь на изучение основных принципов исследуемых технологий, формирование концепций технологий и принципов их применения, подтверждение аналитическим и экспериментальным путем критических функций и характеристик исследуемых технологий.

Первоочередные научные исследования в рамках пилотной зоны должны быть организованы по перспективным и новым направлениям деятельности в части массового внедрения ИТС и ВАТС на автомобильных дорогах общего пользования.

Основными целями исследовательской деятельности в области ИТС и ВАТС являются:

- определение или оценка показателей качества функционирования испытуемого объекта в определенных условиях его применения, выбор наилучших режимов применения объекта или наилучших характеристик свойств объекта;
- сравнение множества вариантов реализации объекта, отбор существенных факторов, влияющих на показатели каче-

ства функционирования объекта;

- построение математической модели функционирования объекта, выбор вида математической модели объекта среди заданного множества вариантов и оценка параметров математической модели.

Результатами научных исследований являются:

- предложения о разработке или внесении изменений в нормативные правовые акты, нормативно-технические и организационно-методические документы (стандарты, положения, методики, инструкции, руководства) в области ИТС и обеспечения безопасного движения ВАТС;

- новые (или модернизированные) образцы техники или технологии в области ИТС и обеспечения безопасного движения ВАТС, создаваемые по результатам научных исследований, в том числе в рамках государственно-частного партнерства;

- технические задания на научно-исследовательские, опытно-конструкторские или опытно-технологические работы, по результатам выполнения которых разрабатывают новые (или модернизируют существующие) образцы техники или технологии в области ИТС и обеспечения безопасного движения ВАТС;

- программы и методики испытаний образцов техники или технологий в области ИТС и ВАТС.

Все исследования и испытания проводятся в соответствии с программой и методикой испытаний, которая должна содержать информацию об объекте и целях испытаний, требования к условиям, средствам, порядку проведения и методам испытаний, а также требования к видам обеспечения испытаний (организационному, материально-техническому, информационному) и требования безопасности и охраны труда.

По результатам испытаний должен оформляться соответствующий протокол, в котором указываются сведения об объектах, применяемых методах и средствах,

условия проведения и результатах испытаний.

В настоящий момент в ФАУ «РОСДОРНИИ» создана и развивается соответствующая передовым технологическим трендам пилотная зона интеллектуальных транспортных систем в Республике Татарстан, позволяющая проводить исследования и испытания в условиях реального транспортного потока. Ключевым элементом созданной пилотной зоны является базовый контур технологического оборудования, включающий в себя набор основных подсистем и элементов ИТС. Кроме того, пилотная зона оснащена соответствующими средствами испытаний для обеспечения движения ВАТС. Функциональное оснащение пилотной зоны ИТС в Республике Татарстан направлено на создание научно-технологического задела и повышение уровня готовности технологий ИТС в кооперации с представителями научно-образовательного и бизнес сообществ.

Таким образом, можно сделать следующие выводы относительно востребованности испытаний и исследований ИТС и отдельных ее элементов, в том числе направленных на обеспечение движения ВАТС:

1. В настоящий момент существует запрос на проведение исследований и тестирования технологий ИТС и ВАТС в условиях реального и ограниченного транспортного потока. В силу своих особенностей наиболее перспективным видом тестовых зон, позволяющим решать наиболее широкий спектр задач, являются пилотные зоны.

2. Деятельность пилотных зон должна формировать базу знаний, которая будет служить основой не только для формирования нормативной правовой и нормативно-технической базы, но и для обеспечения подготовки квалифицированного персонала для работы с ИТС и ВАТС.

3. Работа по исследованиям и тестированию должна быть системной, структурированной и регулярной. Для эффективного проведения данной деятельности требует-

ся соответствующее методологическое и техническое обеспечение.

4. Инфраструктурные и функциональные компоненты пилотных зон ИТС должны соответствовать или иметь более высокие значения, чем установленные требованиями национальных стандартов, действующей нормативной правовой и нормативно-технической базой Российской Федерации.

5. Программы и методики проведения испытаний в пилотной зоне ИТС должны содержать сбалансированные требования к инновационности, функциональности, масштабируемости компонентов, сервисов, технологий ИТС и оптимизации затрат на обеспечение выполнения этих требований.

6. При проведении исследований и испытаний в пилотной зоне ИТС должен быть обеспечен приоритет использования в составе ИТС технических и технологических решений, разработанных на основе инновационных технологий, включая решения, обеспечивающие сервисную поддержку безопасного движения ВАТС.

7. Деятельность на пилотных зонах должна предполагать возможность научно-технической кооперации учредителей пилотной зоны, представителей научного и бизнес-сообществ в сфере ИТС и ВАТС.

8. В силу того, что пилотные зоны являются реально эксплуатируемыми ИТС, опыт их использования может являться методологической основой при проектировании и использовании ИТС, внедряемых на территории Российской Федерации.

9. Исследования и испытания должны проводиться, в том числе, в отношении инновационных технологических решений ИТС, обеспечивающих движение ВАТС. В настоящий момент среди приоритетных к изучению технологий по средствам пилотной зоны ИТС в Республике Татарстан являются ситуационная осведомленность ВАТС, высокоточное позиционирование и динамические цифровые карты дорожного движения.

## Список литературы

1. Российская Федерация. Распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации. Об утверждении Концепции создания и функционирования национальной сети интеллектуальных транспортных систем на автомобильных дорогах общего пользования от 30 сентября 2022 года № АК-247-р. – URL: [mintrans.gov.ru/documents/2/12057](http://mintrans.gov.ru/documents/2/12057) (дата обращения: 25.05.2024). – Текст: электронный.
2. Российская Федерация. Постановление Правительства Российской Федерации. О проведении эксперимента по опытной эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования высокоавтоматизированных транспортных средств от 26 ноября 2018 г. № 1415. – URL: [government.ru/docs/34831/](http://government.ru/docs/34831/) (дата обращения: 25.05.2024). – Текст: электронный.
3. Российская Федерация. Постановление правительства Российской Федерации. Об установлении экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций и утверждения программы экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций по эксплуатации высокоавтоматизированных транспортных средств от 9 марта 2022 г. № 309. – URL: [government.ru/docs/all/139820/](http://government.ru/docs/all/139820/) (дата обращения: 10.04.2024). – Текст: электронный.
4. Немецкий этический кодекс для автоматизированного и подключенного к сети вождения. – URL: [www.academia.edu/35850915/The\\_German\\_Ethics\\_Code\\_for\\_Automated](http://www.academia.edu/35850915/The_German_Ethics_Code_for_Automated) (дата обращения: 20.05.2024). – Текст: электронный.
5. Outline of the 14th Five-Year Plan (2021–2025) for national economic and social development and long-range objectives for 2035. March 2021. – URL: [en.ndrc.gov.cn/policies/202203/P02022031551132674833\\_6.pdf](http://en.ndrc.gov.cn/policies/202203/P02022031551132674833_6.pdf) (дата обращения: 20.05.2024). – Текст: электронный.
6. Experimenteerwet zelfrijdende auto's. – URL: [www.eerstekamer.nl/wetsvoorstel/34838experimenteerwet](http://www.eerstekamer.nl/wetsvoorstel/34838experimenteerwet). (дата обращения: 20.05.2024). – Текст: электронный.
7. Евразийская экономическая комиссия. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности колесных транспортных средств» TP TC 018/2011. – URL: [eec.eaeunion.org/comission/department/deptexreg/tr/](http://eec.eaeunion.org/comission/department/deptexreg/tr/) (дата обращения: 12.04.2024). – Текст: электронный.
8. Евразийская экономическая комиссия. Технический регламент Таможенного союза. Безопасность автомобильных дорог TP TC 014/2011. – URL: [eec.eaeunion.org/comission/department/deptexreg/tr/bezopKolesnTrS.php](http://eec.eaeunion.org/comission/department/deptexreg/tr/bezopKolesnTrS.php) (дата обращения 12.04.2024). – Текст: электронный.
9. ГОСТ Р 56829-2015 Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения = Intelligent transport systems. Terms and Definitions. Национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 декабря 2015 г. № 2150-ст: введен впервые: дата введения 2016-06-01/ разработан Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт интеллектуальных транспортных систем» (ООО «НИИ ИТС»). – Москва : Стандартинформ, 2002. – 10 с.
10. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения = Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1. General principles and definitions: Государственный стандарт Российской Федерации: принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 23.04.2002 № 161-ст: введен впервые: дата введения 2002-11-01/разработан Всероссийским научно-исследовательским институтом метро-

логической службы Госстандарта России (ВНИИМС), Всероссийским научно-исследовательским институтом стандартизации (ВНИИСтандарт), Всероссийским научно-исследовательским институтом классификации, терминологии и информации по стандартизации и качеству (ВНИИКИ) Госстандарта России. – Москва : Стандартинформ, 2002. – 24 с.

УДК 658.5

**ОПТИМИЗАЦИЯ СЕРВИСНОГО  
ОБСЛУЖИВАНИЯ  
В ЭЛЕКТРОСЕТЕВОМ КОМПЛЕКСЕ  
МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**OPTIMIZATION OF SERVICE  
MAINTENANCE IN THE ELECTRIC GRID  
COMPLEX BY MACHINE LEARNING  
METHODS**

*Хамитов Р.М., к.т.н., доцент кафедры  
«Информационные технологии и  
интеллектуальные системы»;  
ORCID: 0000-0002-9949-4404;  
Новоселов Н.Д., магистрант ФГБОУ ВО  
«Казанский государственный энергетический  
университет», г. Казань, Россия*

*Khamitov R.M., candidate of technical sciences,  
Associate Professor of the Department of  
Information Technologies and Intelligent  
Systems;  
ORCID: 0000-0002-9949-4404;  
Novoselov N.D., Undergraduate student, Kazan  
State Power Engineering University,  
Kazan, Russia*

**Аннотация**

Статья рассматривает вопрос оптимизации коммуникаций энергоснабжающих компаний с потребителями в условиях стремительного развития технологий и увеличения объема информации. Исследование обосновывает актуальность применения искусственного интеллекта для автоматизации и улучшения коммуникаций, а также определяет параметры и характеристики системы коммуникаций, которые могут быть улучшены с помощью применения искусственного интеллекта. Целью работы является разработка и внедрение автоматизированной системы тематического анализа обращений потребителей на базе искусственного интеллекта с целью повышения качества работы энергоснабжающей компании.

**Ключевые слова:** энергоснабжающие компании, коммуникации с потребителями, искусственный интеллект, автоматизация, обработка естественного языка, тематический анализ, машинное обучение, оптимизация, качество обслуживания, эффективность работы

**Abstract**

The article examines the issue of optimizing communications between energy supply companies and consumers in the context of rapid technological development and increasing volume of information. The study substantiates the relevance of using artificial intelligence (AI) to automate and improve communications, and also determines the parameters and characteristics of the communications system that can be improved by using AI. The purpose of the work is to develop and implement an automated system for thematic analysis of consumer requests based on AI in order to improve the quality of work of the energy supply company.

**Keywords:** energy supply companies, communications with consumers, artificial intelligence, automation, natural language processing, thematic analysis, machine learning, optimization, quality of service, work efficiency

*Введение*

В условиях стремительного развития технологий и увеличения объема инфор-

мации, энергетические компании сталкиваются с необходимостью оптимизации своих коммуникаций с потребителями.

Важность данной задачи обусловлена не только ростом числа обращений, но и повышением требований к качеству обслуживания. Современные потребители ожидают оперативного и точного ответа на свои запросы, что требует от энергоснабжающих компаний внедрения новых подходов и технологий. В этом контексте применение искусственного интеллекта (далее – ИИ) для автоматизации и улучшения коммуникаций становится не просто актуальным, но и необходимым.

Актуальность исследования обусловлена несколькими основными факторами. Во-первых, энергоснабжающие компании ежедневно обрабатывают огромное количество обращений от потребителей, что требует значительных временных и человеческих ресурсов. Во-вторых, традиционные методы обработки обращений часто не справляются с задачей оперативного и точного ответа, что приводит к снижению уровня удовлетворенности потребителей. В-третьих, современные технологии ИИ, такие как обработка естественного языка (NLP) и машинное обучение, предоставляют новые возможности для автоматизации и улучшения процессов обработки обращений.

Целью исследования является разработка и внедрение автоматизированной системы тематического анализа обращений потребителей на базе ИИ, которая позволит повысить качество работы энергоснабжающей компании. Достижение этой цели предполагает решение ряда задач, связанных с анализом текущих методов коммуникации, выбором и адаптацией предобученных NLP-моделей, разработкой алгоритмов тематического анализа и оценкой их эффективности.

Новизна исследования заключается в разработке подхода к оптимизации коммуникаций энергоснабжающей компании с потребителями на основе ИИ. В отличие от традиционных методов, предложенная система позволяет автоматизировать процесс

обработки обращений, что значительно сокращает время ответа и повышает точность анализа. Кроме того, использование современных NLP-моделей и методов машинного обучения обеспечивает высокую степень адаптивности и точности в выявлении основных тем и проблем.

Практическая значимость исследования заключается в возможности непосредственного применения разработанных методов и алгоритмов в реальных условиях работы энергоснабжающих компаний. Внедрение автоматизированной системы тематического анализа обращений позволит значительно повысить эффективность работы, снизить затраты на обработку обращений и улучшить качество обслуживания потребителей. Это, в свою очередь, приведет к повышению уровня удовлетворенности потребителей и укреплению репутации компании на рынке.

#### *Методика*

В современном мире энергетические компании сталкиваются с необходимостью эффективного взаимодействия с потребителями для обеспечения высокого уровня обслуживания и удовлетворения их потребностей. Важным элементом этого взаимодействия является выбор и оптимизация каналов коммуникаций. Научные исследования показывают, что разнообразие и качество каналов коммуникаций напрямую влияют на удовлетворенность потребителей и эффективность работы компании.

Каналы коммуникаций можно классифицировать на традиционные и цифровые. Традиционные каналы включают в себя телефонные звонки, почтовую корреспонденцию и личные визиты в офисы компании. Цифровые каналы, в свою очередь, включают электронную почту, веб-сайты, мобильные приложения, социальные сети и чат-боты.

Таким образом, выбор и оптимизация каналов коммуникаций являются основными факторами для повышения качества



обслуживания потребителей и эффективности работы энергоснабжающих компаний. Важно учитывать потребности и предпочтения различных групп потребителей, а также постоянно совершенствовать используемые технологии и методы взаимодействия.

В последние годы наблюдается значительный рост интереса к применению ИИ в различных отраслях, включая энергетику. Энергоснабжающие компании сталкиваются с рядом вызовов, связанных с необходимостью повышения эффективности коммуникаций с потребителями. В этом контексте ИИ представляет собой мощный инструмент, способный существенно улуч-

шить взаимодействие между компаниями и их клиентами [1-6].

Одним из основных направлений применения ИИ является автоматизация обработки обращений потребителей. Современные методы обработки естественного языка (NLP) позволяют эффективно анализировать большие объемы текстовых данных, поступающих от клиентов через различные каналы коммуникации, такие как электронная почта, социальные сети и контактные центры. Это позволяет не только ускорить процесс обработки обращений, но и повысить точность и качество ответов (табл. 1).

Таблица 1

**Преимущества применения ИИ в коммуникациях энергоснабжающих компаний**

Преимущество	Описание
Ускорение обработки обращений	ИИ позволяет автоматически классифицировать и направлять обращения к соответствующим специалистам.
Повышение точности ответов	Использование предобученных моделей NLP обеспечивает более точные и релевантные ответы на запросы потребителей.
Анализ настроений и удовлетворенности потребителей	ИИ может анализировать тональность обращений, что позволяет выявлять проблемы и улучшать качество обслуживания.
Персонализация коммуникаций	ИИ помогает создавать персонализированные ответы и предложения для каждого клиента.

Одним из перспективных направлений является использование тематического моделирования для анализа текстов обращений потребителей. Тематическое моделирование позволяет выявлять основные темы и проблемы, которые волнуют клиентов, что, в свою очередь, помогает энергоснабжающим компаниям оперативно реагировать на возникающие вопросы и улучшать качество предоставляемых услуг.

Кроме того, ИИ может быть использован для прогнозирования потребностей клиентов и оптимизации работы контактных центров. Например, алгоритмы машинного

обучения могут анализировать исторические данные и предсказывать, какие вопросы могут возникнуть у клиентов в будущем, что позволяет заранее подготовить соответствующие ответы и ресурсы.

Таким образом, применение ИИ в коммуникациях энергоснабжающих компаний с потребителями открывает широкие перспективы для повышения эффективности и качества обслуживания. Внедрение ИИ позволяет не только автоматизировать рутинные процессы, но и улучшить понимание потребностей клиентов, что в конечном итоге способствует укреплению доверия и

лояльности потребителей [7, 8].

Тематическое моделирование представляет собой процесс выявления скрытых тем в текстовых данных. Одним из наиболее распространенных методов тематического моделирования является латентное размещение Дирихле (Latent Dirichlet Allocation, LDA). Этот метод позволяет определить распределение тем в документах и распределение слов в темах, что дает возможность выявить основные направления и проблемы, волнующие потребителей [9].

Для реализации тематического моделирования и анализа текстов обращений потребителей используются различные предобученные модели обработки естественного языка (NLP). Одной из таких моделей является BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers), которая позволяет эффективно извлекать контекстуальные эмбединги слов и предложений. Эти эмбединги затем могут быть использованы для кластеризации и анализа текстов.

Процесс тематического моделирования включает несколько этапов. Сначала производится сбор текстов обращений потребителей, которые могут поступать через различные каналы, такие как электронная почта, социальные сети, телефонные звонки и т.д. Затем тексты проходят этап предобработки, включающий удаление стоп-слов, лемматизацию и токенизацию. После этого на подготовленные данные применяется модель LDA для выявления тем. Одним из основных элементов тематического моделирования является оценка качества полученных тем. Для этого используются различные метрики, такие как когерентность тем (topic coherence) и перплексия (perplexity).

Применение ИИ для тематического моделирования и анализа текстов обращений потребителей позволяет энергонабжающим компаниям более эффективно выявлять и решать проблемы потребителей,

улучшать качество обслуживания и повышать удовлетворенность клиентов. Внедрение таких технологий способствует созданию более прозрачной и отзывчивой системы коммуникаций, что в конечном итоге ведет к укреплению доверия и лояльности потребителей [7, 10].

Автоматизированная система тематического анализа обращений потребителей включает несколько основных этапов. На первом этапе происходит сбор текстов обращений с электронной почты. Затем, на этапе предобработки, тексты очищаются от лишних символов, нормализуются и токенизируются. После этого, с помощью предобученных NLP-моделей, выполняется кластеризация текстов по тематикам и извлечение основных слов. На заключительном этапе результаты анализа визуализируются и представляются в виде отчетов.

#### *Основная часть*

В процессе автоматизации сбора текстов обращений потребителей с электронной почты основным элементом является разработка алгоритма, который позволяет систематически извлекать необходимую информацию из почтового ящика. Алгоритм основан на использовании протокола IMAP для подключения к серверу и извлечения писем. Протокол IMAP выбран ввиду его широкой поддержки и возможности работы с электронной почтой непосредственно на сервере, что позволяет избежать полной загрузки всех писем на локальное устройство.

Для подключения к серверу используется защищенное соединение IMAP4\_SSL, что обеспечивает необходимый уровень безопасности при передаче данных. После успешного подключения и аутентификации происходит выбор папки «Входящие», где осуществляется поиск всех писем. Полученные идентификаторы писем используются для их последующего извлечения.

Извлеченные письма декодируются в текстовый формат. Важно отметить, что алгоритм учитывает как многочастные, так

и одночастные сообщения, корректно обрабатывая каждый тип. В случае возникновения ошибок в процессе работы алгоритма предусмотрена их обработка и вывод информации о возникшем исключении.

В результате работы алгоритма формируется массив текстов обращений, который будет использоваться в последующих этапах обработки данных. Эффективность и надежность алгоритма обеспечиваются за счет использования проверенных технологий и протоколов, а также благодаря тщательной обработке возможных исключений.

В данном разделе рассматривается процесс предобработки текстов обращений потребителей, который является неотъемлемой частью подготовки данных к анализу с использованием методов искусственного интеллекта. Основная цель предобработки – очистка текстов от нерелевантной информации, такой как фразы приветствия, которые могут вносить шум в контексте анализа текста. Для идентификации и удаления фраз приветствия используются регулярные выражения.

В рамках исследования был проведен анализ предобученных моделей NLP для определения близости текстов. Использование библиотеки `sentence_transformers` позволило оценить качество векторных

представлений текстов, полученных с помощью различных моделей. Основной задачей было определение семантической близости между обращениями потребителей, что важно для их кластеризации и выявления основных проблем, с которыми сталкиваются клиенты энергетической компании. Сравнивались следующие модели: `paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2`, `DeepPavlov/rubert-base-cased-sentence`, `sentence-transformers/paraphrase-xlm-r-multilingual-v1` и `distiluse-base-multilingual-cased-v1`. Для оценки качества моделей использовался метод извлечения ключевых фраз с помощью `KeyBERT` и расчет среднего косинусного расстояния между фразами и текстами внутри кластеров. В результате проведенного анализа моделей NLP для определения близости текстов в многомерном векторном пространстве были получены данные, представленные в табл. 2. Модель `paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2` показала наилучшее среднее косинусное расстояние, равное 0,82696, что свидетельствует о высокой степени семантической близости между ключевыми фразами и текстами внутри кластеров. Это указывает на эффективность данной модели в задачах кластеризации текстовых данных.

Таблица 2

**Средние значения косинусной близости ключевых фраз к текстам внутри кластеров**

Модель	Среднее косинусное расстояние	Оптимальный коэффициент силуэта	Количество кластеров	Количество ключевых фраз
<code>paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2</code>	0,82696	0,82	5	15
<code>DeepPavlov/rubert-base-cased-sentence</code>	0,81543	0,81	7	21
<code>sentence-transformers/paraphrase-xlm-r-multilingual-v1</code>	0,79583	0,79	4	12
<code>distiluse-base-multilingual-cased-v1</code>	0,64891	0,72	8	24

Кроме того, модель *paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2* продемонстрировала средний коэффициент силуэта на уровне 0,82, что является хорошим показателем внутрикластерного расстояния по сравнению с другими кластерами. Это подтверждает качество кластеризации, выполненной с использованием данной модели, и позволяет сделать вывод о том, что тексты внутри кластеров имеют высокую степень схожести.

В рамках исследования для сокращения размерности векторных эмбедингов и визуализации результатов был выбран метод UMAP [11-13]. Этот метод позволяет эффективно работать с текстовыми данными,

сохраняя нелинейные связи и обеспечивая высокую скорость обработки.

В результате проведенного анализа методов сокращения размерности было установлено, что метод UMAP показывает наилучшее время обработки в 7,3 сек. при высоком качестве визуализации (табл. 3). Это свидетельствует о том, что UMAP способен эффективно работать с большими объемами данных, что критически важно для задач обработки естественного языка. Важным преимуществом UMAP является также способность сохранять нелинейные связи в данных, что позволяет более точно интерпретировать структуру векторных пространств.

Таблица 3

**Сравнение методов сокращения размерности**

Метод	Время обработки (сек)	Кол-во сокращенных измерений	Сохранение нелинейных связей
UMAP	7,3	2	Да
tSNE	39,7	2	Да
PCA	4,6	2	Нет

Метод tSNE, хотя и обеспечивает высокое качество визуализации, требует значительно больше времени на обработку данных – 39,7 сек. Это делает его менее предпочтительным для анализа больших объемов информации, что часто встречается в задачах NLP. Тем не менее, tSNE также сохраняет нелинейные связи, что делает его подходящим для задач, где время обработки не является критическим фактором.

Метод PCA показал наименьшее время обработки – 4,6 сек., однако качество визуализации значительно ниже, чем у UMAP и tSNE. Основным недостатком PCA является неспособность сохранять нелинейные связи в данных, что может привести к потере важной информации при сокращении размерности. Это ограничивает применение PCA в сложных задачах NLP, где нелинейные зависимости играют основную роль.

Алгоритм кластеризации email представлен в виде диаграммы на рис. 1. На первом этапе происходит загрузка предобученной модели «*paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2*». Эта модель используется для обеспечения возможности обработки и анализа текстовой информации. Следующим шагом является кодирование email-сообщений в векторное представление, что позволяет работать с текстом на уровне численных данных.

После этого инициализируется библиотека KeyBERT с использованием загруженной модели. KeyBERT играет важную роль в извлечении ключевых фраз из текстов, что будет использовано на последующих этапах. Затем проводится кластеризация векторных представлений email-сообщений с использованием алгоритма KMeans для автоматического определения числа кластеров. KMeans помогает группировать

пировать схожие сообщения вместе, определяя оптимальное количество кластеров на основе заданных данных.

Для улучшения анализа векторов применяется метод UMAP, который уменьшает их размерность, сохраняя при этом основные характеристики распределения данных. Этот шаг облегчает дальнейший анализ и визуализацию данных. На следующем этапе происходит присваивание меток векторным представлениям с помощью KMeans, что позволяет однозначно идентифицировать каждый кластер.

Затем проводится расчет процентного содержания каждого кластера, что дает представление о распределении email-сообщений по кластерам и помогает в анализе их значимости. На последнем этапе выполняется извлечение ключевых фраз для каждого кластера с целью получения информации о содержимом и тематике email-сообщений в каждом отдельном кластере. Заключительным шагом алгоритма является этап «Конец», который завершает процесс кластеризации email.

Этот алгоритм обеспечивает автоматическую и эффективную кластеризацию большого объема email-сообщений, позволяя извлекать ключевые фразы и анализировать распределение сообщений по тематическим кластерам.

Использование модели «paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2» позволило преобразовать тексты обращений в многомерные векторы, которые затем были подвергнуты процедуре кластеризации с помощью алгоритма k-means.

После кластеризации для каждого кластера были извлечены основные фразы с использованием библиотеки KeyBERT.

Использование метода UMAP для визуализации результатов кластеризации также позволяет выявить возможные аномалии или выбросы в данных. Визуализация результатов кластеризации с использованием UMAP предоставляет ценную информацию для анализа тематических обращений

потребителей. Четко выраженные границы кластеров, плотность точек и выявление аномалий позволяют глубже понять структуру данных и эффективно использовать эту информацию для оптимизации коммуникаций энергетической компании с потребителями. Такой подход способствует повышению качества обслуживания и удовлетворенности клиентов, что является основным фактором в конкурентоспособности компании на рынке [14, 15].

#### *Выводы*

В данной работе выполнено исследование оптимизации коммуникаций энергетической компании с потребителями на базе ИИ. Проведен детальный анализ существующих каналов коммуникаций энергоснабжающих компаний с потребителями. На основе анализа были определены перспективы и направления применения ИИ для оптимизации коммуникаций. В частности, было обосновано использование тематического моделирования и анализа текстов обращений потребителей с применением ИИ. Для задачи определения близости текстов в многомерном векторном пространстве была выбрана модель paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2, которая показала наилучшие результаты по метрикам косинусного расстояния и silhouette\_score. Также была проведена оценка и выбор модели для извлечения основных слов, где также была использована модель paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2 в сочетании с библиотекой KeyBERT. Для сокращения размерности векторных эмбедингов и визуализации результатов был выбран метод UMAP, который продемонстрировал высокую эффективность и скорость обработки данных по сравнению с другими методами, такими как tSNE и PCA. Таким образом, для кластеризации текстов была выбрана модель k-means, а оптимальное количество кластеров было определено с использованием метода «локтя» и метрики silhouette\_score.

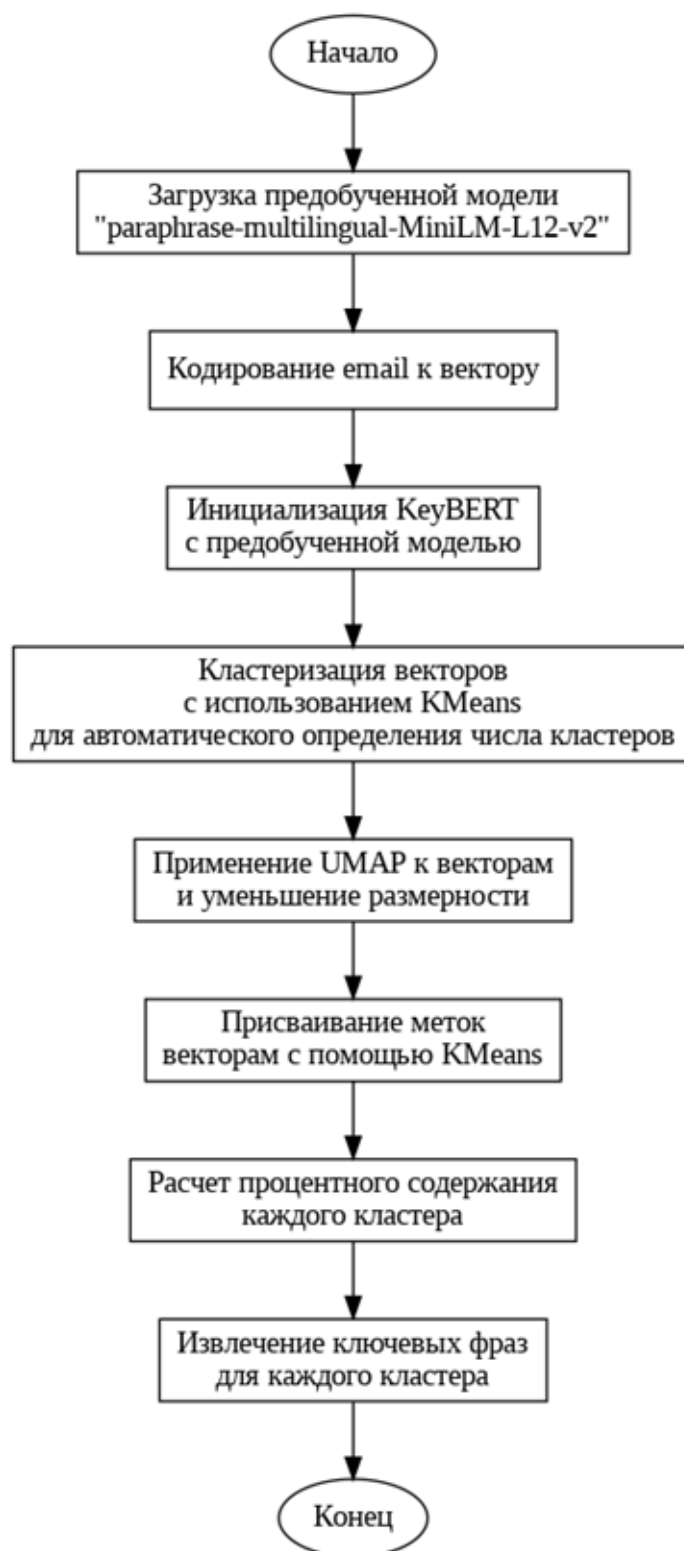


Рис. 1. Алгоритм тематического анализа обращений потребителей

Были разработаны алгоритмы, включающие векторизацию текстов, кластеризацию и извлечение основных фраз. Программное обеспечение было протестировано на реальных данных, что позволило

оценить его эффективность и надежность. Результаты тестирования показали высокие значения метрик точности, полноты и F1-меры, что свидетельствует о высокой точности и надежности разработанных алгоритмов.

Таким образом, в данной работе были достигнуты все поставленные цели и задачи. Разработанная система тематического анализа обращений потребителей на базе ИИ позволяет значительно улучшить качество работы энергоснабжающих компаний, повысить скорость и точность обработки

обращений, а также увеличить уровень удовлетворенности клиентов. Полученные результаты подтверждают эффективность предложенного подхода и открывают новые возможности для дальнейшего развития и применения ИИ в сфере энергетики [16, 17].

### Список литературы

1. Захаров, В. М. Анализ текстов обращений потребителей: методы и технологии / В. М. Захаров. – Москва : Логос, 2023. – 175 с.
2. Brown J. *Advances in AI for Energy Sector Communications*. New York: Springer, 2023. 210 p.
3. Johnson K. *AI-Driven Customer Communication in Energy Companies*. Boston: MIT Press, 2023. 180 p.
4. Smith R. *Natural Language Processing in Energy Industry*. London: Academic Press, 2022. 195 p.
5. Johnson M. *AI in Energy Sector: Challenges and Opportunities*. New York: Springer, 2023. 210 p.
6. Brown T. *Natural Language Processing in Customer Service*. London: Wiley, 2022. 200 p.
7. Иванова, Е. А. Тематическое моделирование в задачах анализа текстов / Е. А. Иванова. – Казань : Казанский университет, 2023. – 160 с.
8. Соколов, Д. В. Автоматизация обработки обращений потребителей в энергетике / Д. В. Соколов. – Москва : Энергоатомиздат, 2022. – 185 с.
9. Петрова, Н. И. Искусственный интеллект в управлении коммуникациями / Н. И. Петрова. – Санкт-Петербург : Лань, 2023. – 200 с.
10. Крылов А.Л. Методы предобработки текстов в задачах NLP / А. Л. Крылов. – Москва : ДМК Пресс, 2023. – 170 с.
11. Романов, Д.В. Искусственный интеллект и обработка естественного языка / Д. В. Романов. – Москва : Лаборатория знаний, 2022. – 200 с.
12. Беляев, Е. С. Визуализация данных в задачах анализа текстов / Е. С. Беляев. – Санкт-Петербург : Питер, 2023. – 170 с.
13. Кузьмина, О. В. Сокращение размерности векторных эмбедингов / О. В. Кузьмина. – Москва : ДМК Пресс, 2023. – 170 с.
14. Белова, Е. И. Применение языковых моделей нейронных сетей для оптимизации обработки обращений клиентов / Е. И. Белова, Р. М. Хамитов // *Казанская наука*. – 2024. – № 3. – С. 321-323.
15. Натальсон, А. В. Влияние процессов цифровизации энергетической сферы на развитие компетенций инженера / А. В. Натальсон // *Russian Journal of Education and Psychology*. – 2023. – Т. 14, № 1-2. – С. 110-114.
16. Новоселов, Н. Д. Оптимизация коммуникаций энергетической компании с потребителями на базе искусственного интеллекта / Н. Д. Новоселов, Р. М. Хамитов // *Экономика и предпринимательство*. – 2024. – № 4(165). – С. 920-923.
17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024619580 Российская Федерация. Мобильное приложение для оптимизации коммуникаций энергетической компании с потребителями : № 2024618538 : заявл. 19.04.2024 : опубл. 24.04.2024 / Н. Д. Новоселов, Р. М. Хамитов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет».

УДК 625.7

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ  
СРАВНЕНИЕ ПРИБОРОВ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ  
ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА****TECHNICAL AND ECONOMIC  
COMPARISON OF DEVICES  
FOR DETERMINING THE INTENSITY OF  
TRAFFIC FLOW**

Хафизов Э.Р., к.т.н., доцент кафедры  
«Автомобильные дороги, мосты и тоннели»;  
ORCID: 0000-0003-4227-1733;  
E-mail: hafizov@kgasu.ru;  
Гарифуллин Д.Ф., магистрант ФГБОУ ВО  
«Казанский государственный архитектурно-  
строительный университет»,  
г. Казань, Россия;  
E-mail: garifullin.danis@mail.ru

Khafizov E.R., candidate of technical sciences,  
associate professor of the Department of  
Highways, Bridges and Tunnels;  
ORCID: 0000-0003-4227-1733;  
E-mail: hafizov@kgasu.ru;  
Garifullin D.F., undergraduate student, Kazan  
State University of Architecture and Civil  
Engineering, Kazan, Russia;  
E-mail: garifullin.danis@mail.ru

**Аннотация**

Изменение состава транспортного потока играет большую роль в дорожной инфраструктуре, пренебрежение этим фактором приводит к ряду проблем на автодорогах. По прогнозам 2022 г., количество автобусов в Татарстане к 2030 г. увеличится на 20%, а грузовых – на 30%. В то же время предполагается изменение структуры автопарка: увеличится доля крупнотоннажных и малотоннажных грузовиков с грузоподъемностью до 20 тонн, а также автобусов среднего и малого размера. Для улучшения ситуации на дорогах Татарстана необходимо провести анализ текущей инфраструктуры и объемов транспортного потока, чтобы определить участки с наибольшим количеством пробок и проблем с дорожным покрытием. На основе этого анализа можно разработать программу модернизации дорожной инфраструктуры, включающую в себя увеличение числа полос, расширение дорог и улучшение качества дорожного покрытия. Способ решения данной проблемы – автоматизированный учет интенсивности и состава потока на автомобильной дороге с помощью различных приборов учета. В статье рассмотрены современные и самые распространённые приборы учета интенсивности транспортного потока за рубежом и в Российской Федерации.

**Ключевые слова:** интенсивность, транспортный поток, датчик, автомобильные дороги, видеодетектор

**Abstract**

Changing the composition of traffic flow plays a big role in road infrastructure, neglect of which leads to a number of problems on roads. According to forecasts for 2022, the number of buses in Tatarstan will increase by 20% by 2030, and freight buses by 30%. At the same time, it is planned to change the structure of the vehicle fleet: the share of large- and light-tonnage trucks with a carrying capacity of up to 20 tons, as well as medium- and small-sized buses, will increase. To improve the situation on the roads of Tatarstan, it is necessary to analyze the current infrastructure and volumes of traffic flow in order to identify areas with the greatest number of traffic jams and problems with the road surface. Based on this analysis, a road infrastructure modernization program can be developed, including increasing the number of lanes, widening roads and improving the quality of road surfaces. A way to solve this problem is to automatically record the intensity and composition of traffic on a highway using various metering devices. The article discusses the modern and most common devices for measuring the intensity of traffic flow abroad and in the Russian Federation.

**Keywords:** intensity, traffic flow, sensor, highways, video detector



### *Введение*

В современных реалиях огромное значение придается автомобильному транспорту, который выделяется среди других видов передвижения своей высокой мобильностью, возможностью развивать высокую скорость, обладать маневренностью, иметь умеренную стоимость эксплуатации и, самое главное, осуществлять прямую доставку товаров от производителя к потребителю.

Эффективность функционирования автомобильного транспорта напрямую зависит от состояния дорожной инфраструктуры, которая должна соответствовать современным стандартам и иметь оптимальную геометрию, обеспечивающую высокие скорости движения и способную выдерживать нормативные нагрузки.

В настоящее время первостепенной задачей для эффективного функционирования автомобильного транспорта является повышение эксплуатационного состояния автомобильных дорог, которые являются частью международных транспортных коридоров и путей, соединяющихся с автомобильными пограничными переходами до уровня, соответствующего международным стандартам. Автодорожная сеть Российской Федерации основывалась в основном во второй половине XX в. и на сегодняшний день простирается на общую протяженность более 1,4 млн километров [1]. Большинство дорог России не соответствует современным требованиям автомобильной инфраструктуры, что требует их модернизации и повышения качества до международного уровня.

Дорожная инфраструктура включает в себя сеть дорог федерального, регионального и муниципального значения, которая представляет собой разнообразие вариантов дорожных конструкций и характеристик прочности. Это создает значительные трудности при управлении и обслуживании автодорог. Однако точное планирование работ по ремонту основывается на

данных о потребительских свойствах дорог, полученных в результате их диагностики. Именно диагностика предоставляет полную и объективную информацию о состоянии дорог и их соответствии требованиям движения. Систематический мониторинг является основой для управления состоянием дорог и оптимального использования средств на их ремонт. Учитывая обширность дорожной сети, проведение диагностики автодорог является сложным и затратным процессом как на этапе первичной диагностики, так и в ходе системного мониторинга.

Интенсивность транспортного потока – это показатель количества транспортных средств в единицу времени на определенном участке дороги, который используется для планирования ремонта, оценки нагрузки на дорогу, мониторинга износа дорожного покрытия и определения интенсивности движения в будущем. Интенсивность является одним из важнейших показателей дорожного движения [2].

Кроме того, увеличение доли большегрузных автомобилей с осевой нагрузкой более 20 тонн в потоке привело к интенсивному износу дорожного покрытия, образованию колеи на дороге [3]. В связи с этим одним из решений является автоматический учет интенсивности транспортного потока на проезжей части с использованием различных устройств и приборов для своевременного ремонта дорог.

Целью данного исследования является определение и сравнение, с технической и экономической точек зрения, наиболее подходящего устройства для определения интенсивности транспортных потоков.

Задачи исследования: рассмотрение и анализ актуальных приборов учета, используемых при определении интенсивности движения транспортных средств.

### *Приборы и их виды*

При определении интенсивности транспортного потока применяются различные приборы, основанные на различных прин-

ципах работы, и делятся на такие, как контактно-механические, радиолокационные, оптически комбинированные.

*Контактно-механические приборы*

У контактно-механических детекторов принцип работы связан получением информации через механические колебания с помощью детекторов, установленных на дорожное полотно. Во многих странах ведется работа по внедрению автоматизированных систем взвешивания в движении, таких как «Weigh-in-Motion» (WIM), предназначенных для непрерывного и автоматического контроля полной массы транспортного средства [4]. Эти системы

охватывают всю ширину контролируемой полосы и используют линейные датчики на основе дискретных чувствительных элементов, изготовленных из монокристаллического пьезоматериала. Также отмечено, что система WIM может служить для измерения не только веса транспортного средства, но и скорости движения и расстояния между осями [5]. По сравнению со статическими весовыми станциями, WIM системы не требуют остановки грузовиков, что значительно повышает их эффективность. На рис. 1 представлена модель автомобильной дороги с датчиком WIM в дорожной одежде.

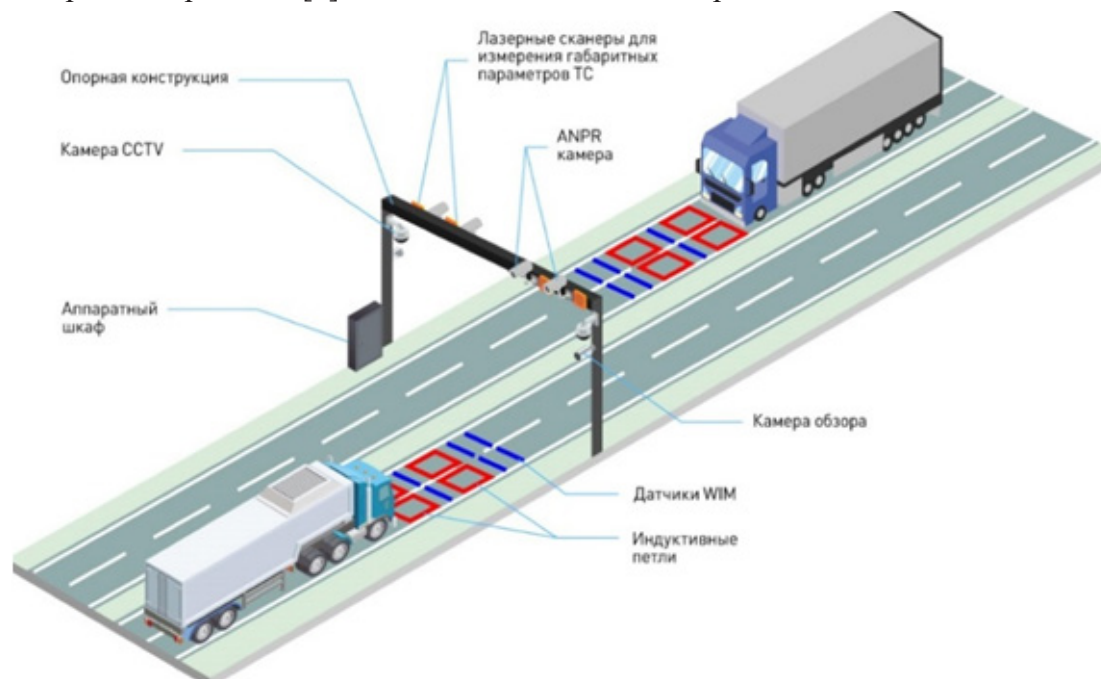


Рис. 1. Пример автомобильной дороги с датчиком WIM в дорожном полотне

Данные датчики обладают высокой скоростью обработки данных, безопасностью, непрерывностью обработки данных, низкой стоимостью эксплуатации, а также непрерывным контролем за допустимыми нагрузками. Из недостатков – станции WIM встраиваются в дорожную одежду; чувствительны к электромагнитным помехам и из-за механического воздействия подвержены к износу. Стоит отметить, что повышение точности взвешивания транспортных средств повышает эффективность контроля их веса и, следовательно, эффек-

тивность усилий по исключению перегруженных автомобилей из транспортного потока. Таким образом, системы WIM широко используются для поддержки управления транспортной инфраструктуры [6-7].

*Вибрационный электроконтактный детектор*

Виброэлектрический контактный датчик представляет собой кусок металла, свободно расположенный в покрытии вдоль направления движения. Простота конструкции и легкость установки этого датчика делают его идеальным выбором

для ситуаций, когда требуется только информация о транспортном средстве или количестве осей. Конец ленты соединен с небольшой коробкой, в которой находятся приемник и усилитель колебаний вторник с электрическими контактами на выходе. Данные приборы устроены на эффекте электризации трением, который возникает из-за вибрации в металлической полосе. При проезде транспортного средства через полосу, возникшая вибрация попадает в блок приемника колебаний, а оттуда, в виде электрического импульса, в систему регистрации сигналов.

*Оптически комбинированные приборы*

К данному методу относится применение различных оптических, интеллектуальных систем мониторинга транспортного потока.

Одним из применяемых в современной практике оптических приборов определения интенсивности транспортного потока является видеодетектор серии «ИНФОПРО» российской компании «Инфопроект», который был разработан для анализа транспортного потока и предоставления актуальных данных о движении на дорогах (рис. 2) [8].

Это инновационное, надежное и удобное в использовании устройство, способное оперативно собирать статистику и обеспечивать эффективное управление транспортным потоком. Видеодетектор, благодаря постоянному исследованию существующих зарубежных и отечественных приборов, обладает уникальным сочетанием высокой производительности и доступной цены [9].



Рис. 2. Вид данных, получаемых с видеодетектора «ИНФОПРО»

Устройство способно определять различные параметры транспортного движения, включая среднюю скорость, занятость дороги, интенсивность, интервалы между автомобилями, их классификацию по размеру и другие характеристики, широко применяемые в дорожной индустрии. «ИНФОПРО» может использоваться как самостоятельное устройство для мониторинга транспортного потока на магистралях, так и в совокупности с осветительным оборудованием для автоматической регулировки светофоров. Кроме того, он позволяет одновременно обеспечивать связь с несколькими устройствами для передачи информации.

*Датчики радиолокационного типа*

Эти датчики генерируют 2 луча, прохо-

дящих параллельно друг другу, создавая ограниченный измеримый зазор. Датчик очень точно измеряет скорость отдельного транспортного средства, измеряя время, необходимое транспортному средству для перемещения между 2 лучами с определенным расстоянием.

По радиолокационному типу работает датчик «АРКЕН» (рис. 3). Он разработан компанией Minimax-94JSC, ведущей компанией в области систем мониторинга дорог. Датчик может предоставлять информацию о дорожном движении и пробках [10]. Параллельные лучи радара образуют определенный интервал, где можно точно определять скорость, размер и направление движения каждого транспортного средства.

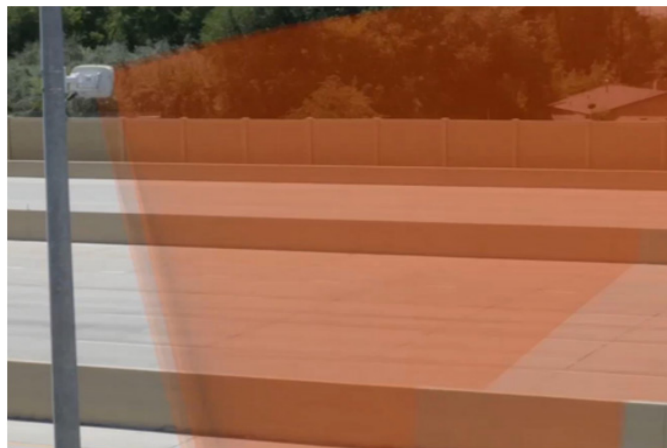


Рис. 3. Параллельные лучи радара «АРКЕН»

Обычные однолучевые датчики могут определять только среднюю скорость транспортного потока, а не каждое транспортное средство. Данный датчик используется для точного определения общей плотности и классификации транспортных средств с высокой точностью до 95% от направления; измерить среднюю скорость; измерить заторы на полосах движения между транспортными средствами; измерения параметров сразу с 22 полос одновременно (рис. 4) [11].

Единственным недостатком датчика является то, что он не предназначен для опре-

деления веса транспортных средств.

Датчик интенсивности движения транспортных средств «РДТ-К4\ RTMS»

Микроволновый датчик дорожного движения RDT-K4 – это радиолокационный датчик последнего поколения для обнаружения и измерения параметров дорожных транспортных средств, измеряющих расстояние до объектов, находящихся на пути его микроволнового луча (рис. 5) [12]. Эта функция определения дальности позволяет обнаруживать движущиеся и неподвижные транспортные средства в нескольких зонах обнаружения.



Рис. 4. Датчик «АРКЕН» на опоре освещения

Датчик может быть установлен на придорожных вертикальных столбах и направлен под прямым углом к дороге, что называется конфигурацией с боковым наведением. Один такой датчик может отслеживать движение на 8 полосах движения [13]. Внутренний процессор датчика вычисляет объем, загруженность и среднюю скорость, а также класс транспортного средства по



Рис. 5. Датчик «RTMS/ РДТ-К4»

длине каждой полосы движения и передает информацию через свой порт передачи данных [14].

Преимущества «РДТ-К4\ RTMS» датчика: быстрая и безопасная установка на придорожной опоре; низкая стоимость в течение всего срока службы; нет необходимости в плановом обслуживании. Обеспечивается беспроводная передача дан-

ных [15]. Недостаток: не предназначен для определения веса транспортных средств.

*Результаты*

Были изучены методы и приборы учета интенсивности транспортного по-

тока. Произведено технико-экономическое сравнение приборов учета интенсивности транспортного потока, результат которого представлен в табл. 1.

Таблица 1

**Технико-экономическая характеристика приборов учета интенсивности транспортного потока**

№ п/п	Характеристика	«АРКЕН»	«RTMS / РДТ-К4»	«ИНФОПРО»
1	Условия для бесперебойной работы и эксплуатации датчиков	от -35°С до + 80°С, относительная влажность воздуха до 90%	от -40°С до + 75°С, относительная влажность воздуха до 95%	-45 +50°С
2	Радиус действия, м	от 2 до 77,3	от 0 до 76	до 25
3	Количество обрабатываемых полос движения	22	12	8
4	Потребляемая мощность, Вт	7,6	3	10
5	Стоимость, руб.	176 355,93	184 743,56	201 800
6	Изготовитель	АО «Мини-макс-94», Россия	ISS, Канада	ООО «Инфопроецесс», Россия
7	Гарантийный срок службы	10 лет	10 лет	8 лет

Исходя из данных, приведенных в табл. 1, видно, что датчик измерения интенсивности и скорости «АРКЕН» превосходит другие приборы по дальности действия, количеству обрабатываемых полос, стоимости и другим показателям. Следовательно, можно сделать вывод, что датчик измерения интенсивности и скорости «АРКЕН» с технической и экономической точки зрения является наиболее оптимальным.

*Заключение*

Активный рост числа транспортных средств на автомобильных дорогах показывает, что своевременный мониторинг и анализ транспортного потока с помощью различных приборов учета интенсивности помогает правильно распределять потоки и

предотвращать повышенный износ дорожной одежды. Поэтому выбор правильно подобранного по технико-экономическим показателям датчика учета интенсивности транспортного потока имеет большое значение в развитии дорожной инфраструктуры.

Анализ приведённых датчиков учета интенсивности транспортного потока показал, что самыми актуальными среди них в настоящее время являются «АРКЕН», «RTMS / РДТ-К4» и «ИНФОПРО». Прибор учета интенсивности транспортного потока «АРКЕН» отличается технико-экономическими характеристиками от других видов детекторов в положительную сторону, вследствие чего нашел наиболее масштабное применение.

## Список литературы

1. О развитии дорожной инфраструктуры – URL: [www.government.ru/info/22865/](http://www.government.ru/info/22865/) (дата обращения: 10.05.2024). – Текст: электронный.
2. Хафизов, Э. Р. Определение интенсивности движения и состава потока на улично-дорожной сети г. Казани в рамках исследования образования дефектов на дорожных покрытиях / Э. Р. Хафизов, Е. А. Вдовин, А. Ю. Фомин // Известия КГАСУ. – 2017. – № 2 (40). – С. 297-304.
3. Ермаченко, К. А. Прогнозирование транспортных потоков на улицах Читы при кратковременных обследованиях / К. А. Ермаченко, Е. И. Шакина // Аспирант. Приложение к журналу Вестник Забайкальского государственного университета. – 2013. – № 1 (13). – С. 86-91.
4. Brzozowski K., Maczynski A., Rygula A., Konior T. A weigh-in-motion system with automatic data reliability estimation // Measurement. 2023. Vol. 221.113494, ISSN 0263-2241, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113494>. [Brzozowski K., Maczynski A., Rygula A., Konior T. A weigh-in-motion system with automatic data reliability estimation // Measurement. 2023. Vol. 221.113494, ISSN 0263-2241, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113494>.]
5. Adresi M., Mohammadmahdi A., Dong W., Yekrangnia M. A review of different types of weigh-in-motion sensors: State-of-the-art // Measurement. 2024. Vol.225. 114042, ISSN 0263-2241, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.114042>.
6. Sujon M., Fei Dai F. Application of weigh-in-motion technologies for pavement and bridge response monitoring: State-of-the-art review // Automation in Construction. 2021. Vol. 130. 103844, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103844>.
7. Tawska S., Chmielewski J., & Bacharz M., Bacharz K., Nowak A. (2021). Comparative Accuracy Analysis of Truck Weight Measurement Techniques // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. 745. <https://doi.org/10.3390/app11020745>.
8. Видеодетектор автотранспортных средств ИНФОПРО [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.infoprocess.ru/detector.htm> (дата обращения 18.03.2024). [Video detectors of INFOPRO vehicles [Electronic resource]. – URL: <http://www.infoprocess.ru/detector.htm> (reference date: 18.03.2024).
9. Soroka E.O. Video traffic estimation algorithm // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 734. doi:10.1088/1757-899X/734/1/012156.
10. Датчик интенсивности «Аркен» [Электронный ресурс]. – URL: <https://inteldor.ru/products/arken/> (дата обращения 10.05.2024).
11. Шаров, А. Ю. Интеллектуальная транспортная система – эффективный метод интеграции современных информационных и телематических технологий в управлении дорожным движением и эксплуатации дорог: сб. тр. XIII Международной научно-технической конференции – Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса / Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург. 2021. – С. 482-487.
12. Sensore di traffico RTMS [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.scae.net/prodotti/sensore-traffico-rtms-sx-300/> (reference date: 13.05.2024).
13. Zhang Z., Han L. D., Liu Y. Exploration and evaluation of crowdsourced probe-based Waze traffic speed //Transportation letters. 2022. Vol. 14. №. 5. P. 546-554. [Zhang Z., Han L. D., Liu Y. Exploration and evaluation of crowdsourced probe-based Waze traffic speed] // Transportation letters. 2022. Vol. 14. №. 5. P. 546-554.

14. Ершов, М. Д. Разработка и исследование алгоритмов оценки параметров движущихся объектов в задачах видеоаналитики [Электронный ресурс]. – URL: [https://dblib.rsreu.ru/data/dissertations/79\\_diss.pdf](https://dblib.rsreu.ru/data/dissertations/79_diss.pdf) (дата обращения 13.05.2024).

15. Diewald A. et al. Radar target simulation for vehicle-in-the-loop testing //Vehicles. 2021. Vol. 3. №. 2. P. 257-271.

**УДК 004.896, 004.738.5**  
**ПОСТРОЕНИЕ АРХИТЕКТУРЫ**  
**СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ**  
**ДОРОЖНЫХ АНОМАЛИЙ В РЕЖИМЕ**  
**РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

**DESIGN OF A REAL-TIME ROAD**  
**ANOMALY DETECTION SYSTEM**  
**ARCHITECTURE**

*Холкин А.В., магистрант;*  
*Бикмуллина И.И., к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО*  
*«Казанский национальный исследовательский*  
*технический университет им. А.Н. Туполева –*  
*КАИ», г. Казань, Россия*

*Kholkin A.V., undergraduate student;*  
*Bikmullina I.I., candidate of technical sciences,*  
*Associate Professor, of Kazan National Research*  
*Technical University named after A.N. Tupolev –*  
*KAI, Kazan, Russia*

**Аннотация**

Статья посвящена построению архитектуры системы для обнаружения дорожных аномалий в режиме реального времени. В работе описывается использование информационных систем с нейронными моделями для анализа дорожного движения и определения аномалий, таких как ДТП, аварийная остановка, посторонний предмет или люди на дорожном полотне.

Основной задачей является создание системы, способной обрабатывать большой объем данных видеопотоков в режиме реального времени. Для этого предлагается многопроцессорная архитектура системы, которая включает в себя процессы чтения кадров RTSP-потока, детектирования объектов на кадре, отслеживания их движения, подготовки траекторий, сопоставления полученных траекторий с набором эталонных траекторий, записи информации об инциденте в базу данных и объектное хранилище, а также уведомления заинтересованных лиц.

В качестве детектора объектов используется YOLOv4-tiny, а для отслеживания объектов – пирамидальная реализация разреженного оптического потока KLT. Для сбора данных о траекториях используется СУБД PostgreSQL, а для хранения видеофрагментов инцидентов – S3-хранилище MinIO.

Такая архитектура позволяет быстро масштабировать решение для различного количества камер и требований к скорости обработки за счет изменения количества процессов обнаружения и отслеживания. Тестирование системы проводилось на сервере с ОС Windows Server 2016 Datacenter, ЦПУ AMD EPYC 7551P, 512 Гб ОЗУ и 2 ГПУ NVIDIA Tesla V100. При запуске системы для работы с 20 потоками ЦПУ был загружен на 90%, ГПУ на 40%, также использовалось 90 Гб ОЗУ.

Результаты данной работы могут быть использованы в муниципальных и региональных интеллектуальных транспортных системах.

В перспективе предлагается возможность оптимизации архитектуры системы. Это может быть достигнуто путем сокращения числа дочерних процессов, отвечающих за управление очередями кадров для детекторов и трекеров. Такой подход позволит обрабатывать большее количество видеопотоков одновременно, не требуя при этом дополнительных вычислительных ресурсов.

**Ключевые слова:** многопроцессорная архитектура системы, интеллектуальные

транспортные системы, обработка видео, обнаружение аномалий

### Abstract

The paper is devoted to the construction of a system architecture for real-time detection of traffic anomalies. The paper describes the use of information systems with neural models to analyze road traffic and detect anomalies such as traffic accidents, emergency stops, foreign object or people on the roadway.

The main challenge is to develop a system capable of processing a large amount of video stream data in real time. For this purpose, a multiprocessor system architecture is proposed, which includes the processes of reading RTSP stream frames, detecting objects on the frame, tracking their motion, preparing trajectories, comparing the obtained trajectories with a set of reference trajectories, recording information about the incident in the database and object storage, and notifying interested parties.

YOLOv4-tiny is used as the object detector, and a pyramidal implementation of KLT sparse optical flow is used for object tracking. A PostgreSQL DBMS is used to collect trajectory data, and MinIO S3 storage is used to store video clips of incidents.

This architecture allows to quickly scale the solution for different number of cameras and processing speed requirements by changing the number of detection and tracking processes. The system was tested on a server running Windows Server 2016 Datacenter, AMD EPYC 7551P CPU, 512 GB RAM and 2 NVIDIA Tesla V100 GPUs. When the system was started up to handle 20 threads, the CPU was 90% utilized, the GPU was 40% utilized, and 90 GB of RAM was also used.

The results of this work can be used in municipal and regional intelligent transportation systems.

In the future, the possibility of optimizing the system architecture is suggested. This can be achieved by reducing the number of child processes responsible for managing frame queues for detectors and trackers. This approach will allow processing a larger number of video streams simultaneously without requiring additional computational resources.

**Keywords:** multiprocessor system architecture, intelligent transportation systems, video processing, anomaly detection

### Введение

В настоящее время для анализа дорожного движения широко применяются информационные системы с использованием нейронных моделей [1]. Так, уже сейчас подобные решения способны определять оптимальные светофорные фазы на множестве перекрестков, объединенных в единую сеть, подстраиваясь под интенсивность дорожного движения. Кроме того, по всей России повсеместно применяются комплексы фото- и видеофиксации (далее – ФВФ), также использующие нейронные сети для определения характеристик транспортных средств (далее – ТС) [2]: государственного регистрационного знака, марки и модели автомобиля, его типа и т.п. Все это оказало положительное, хоть и косвен-

ное, влияние на повышение безопасности дорожного движения: в 2012 г. жертвами аварий стали 27 991 человек, а в 2022 г. – почти в 2 раза меньше – 13 021 человек [3].

Уже сейчас города оснащаются не только комплексами ФВФ, но и камерами видеонаблюдения, которые стали неотъемлемым элементом современного «умного» города. Такие камеры позволяют получать важную информацию о текущей дорожной ситуации на улицах, являясь основным источником информации для многих сервисов интеллектуальных транспортных систем (далее – ИТС), отвечающих за определение загруженности автомобильных дорог, погодных условий, состояния дорожного полотна и т.д. Увеличение числа сервисов ИТС, интегрированных в городскую ин-



фраструктуру, ставит проблему автоматического анализа большого количества данных видеопотоков с городских камер.

Развитие информационных и, в частности, когнитивных технологий позволяет использовать нейронные сети для решения более сложных задач, чем определение ГРЗ ТС, движущихся с превышением скорости: например, проведение глубокого анализа видеопотока в режиме реального времени для отслеживания передвижения ТС для определения нестандартного поведения автомобилей в кадре (ДТП, аварийная остановка, посторонний предмет или люди на дорожном полотне и др.). В рамках данной работы подобное поведение будет называться аномалией или инцидентом. Информация об обнаруженных аномалиях в поведеньях транспортных средств должны учитываться для принятия решений по оказанию оперативного вмешательства (вызов специальных служб, перенаправление трафика и т.п.) и эффективного управления дорожным движением на верхнем уровне ИТС.

Одним из важных сервисов ИТС, развивающих концепцию «умного» города, является автоматическое детектирование аномальных траекторий движения ТС. Это является сложной задачей, поскольку для её решения требуется не только эффектив-

ное обнаружение ТС, их отслеживание и определение различных инцидентов, но и организация такой системной архитектуры, которая позволит удобно масштабировать решение с минимальными затратами вычислительных ресурсов.

Данная работа направлена на описание выбранного подхода для построения эффективной архитектуры для решения описанных задач.

*Описание системы*

Общая схема алгоритма определения аномалии от получения кадра из RTSP-потока и до уведомления конечных пользователей об инциденте представлена на рис. 1.

Рассмотрим каждый из шагов подробнее.

1. Получение исходного набора кадров из RTSP-потока. Преобразование каждого исходного кадра в черно-белое изображение, а также его масштабирование до разрешения 608 на 608 пикселей.

Важным требованием к системе является способность обрабатывать видеопоток в режиме реального времени с множества камер, поэтому для снижения требований к вычислительным ресурсам с минимальным снижением точности работы детектора используется преобразование исходного RGB-кадра в черно-белое изображение с разрешением 608 на 608 пикселей.



Рис. 1. Общая схема алгоритма определения аномалий

2. Детекция объектов (транспортных средств) в кадре и их отслеживание (получение траекторий движения).

Алгоритм обнаружения и отслеживания

объектов следует парадигме отслеживания по обнаружению [4]. Это подразумевает разделение процесса слежения на два этапа: обнаружение всех объектов в кадре де-

тектором и связывание соответствующих обнаружений трекерами во времени для формирования траекторий. В качестве детектора объектов используется YOLOv4-tiny. Он обеспечивает приемлемую производительность и хорошее соотношение FPS/точность. Трекер основан на пирамидальной реализации разреженного оптического потока KLT. Он обеспечивает надежное отслеживание объектов на интервалах до пяти кадров.

Используются следующие шаги: обнаружение объектов на кадре, инициализация или реинициализация (обновление координат объекта, если он уже отслеживался ранее) трекеров для каждого найденного объекта, независимое отслеживание объектов на следующих  $n$  кадрах. Удаляются объекты или принимаем решение о прекращении отслеживания, когда объекты выходят за пределы кадра или исчезают из-за окклюзии. Благодаря совместной работе детектора и трекера траектории собираются в единое целое, что дает полную картину движения.

3. Подготовка траекторий (фильтрация, сглаживание и аппроксимация).

4. Сопоставление полученных траекторий с набором эталонных траекторий.

Эталонные траектории – это предварительно сформированная выборка траекторий транспортных средств для каждого из рассматриваемых перекрестков, состоящая из нормальных (неаномальных) наборов точек.

5. Запись информации об инциденте (номер камеры, время и видеофрагмент аномалии) в базу данных и объектное хранилище.

6. Уведомление заинтересованных лиц.

Происходит путем отправки json с указанием номера камеры и времени, начиная с которого произошел инцидент на внешние REST API [5]. В случае отсутствия аномальных траекторий какой-либо ответ со стороны программы не предусмотрен.

На начальных этапах использования системы оценка корректности сформированных системой ответов осуществляется путем просмотра участка видеозаписи с камеры с наложенной аномальной траектория движения транспортного средства. В случае ошибки координаты траектории переносятся в класс эталонных для исключения повторения ложного срабатывания в дальнейшем.

#### *Построение архитектуры системы*

Поскольку данная разработка призвана обеспечить обработку RTSP-видеопотоков с множества городских камер в режиме реального времени, используется многопроцессорная архитектура системы, которая обеспечивает обработку множества потоков на одной серверной машине [6, 7]. Тестирование производилось на сервере с ОС Windows Server 2016 Datacenter со следующими характеристиками: ЦПУ AMD EPYC 7551P, 512 ГБ ОЗУ и 2 ГПУ NVIDIA Tesla V100. При запуске системы для работы с 20 потоками ЦПУ был загружен на 90%, ГПУ на 40%, также использовалось 90 ГБ ОЗУ.

Схема многопроцессорной архитектуры представлена на рис. 2.

Данная схема включает в себя разделение на следующие процессы:

1. Reader – это процесс, который отвечает за чтение кадров из RTSP-потока в режиме реального времени. Он также преобразует эти кадры в черно-белые изображения с разрешением 608x608 пикселей, что позволяет уменьшить требования к вычислительным ресурсам с минимальным снижением точности детекции. Этот процесс обеспечивает непрерывное чтение и передачу каждого кадра в очередь Reader Tracker Queue. Кроме того, каждый пятый кадр передается в Detector для определения транспортных средств на нем. Это обеспечивает эффективное распределение задач между различными процессами.

2. Detector – это процесс, в котором запущен детектор объектов (транспортных

средств) YOLOv4-tiny [8]. Он читает каждый пятый кадр из очереди Reader Detector Queue, которую наполняет Reader изображениями. Это обеспечивает эффективное распределение нагрузки и уменьшает вероятность перегрузки системы. После детекции объектов результаты передаются в очередь Detector Tracker Queue.

3. Manager – это процесс, который занимается управлением очередями Reader Tracker Queue и Detector Tracker Queue. Он блокирует запись при чтении и чтение при добавлении новых кадров в очереди. Это обеспечивает синхронизацию между различными процессами и предотвращает возможные конфликты и «гонки».

4. Tracker – это процесс, который реализует алгоритм отслеживания передвижения детектированных транспортных средств. В нем также происходит сглаживание траекторий, их сопоставление с эталонными наборами данных и определение среди них аномальных инцидентов. Это обеспечивает точность и надежность в отслеживании движения объектов.

5. Writer – это процесс, который отвечает за запись результатов обнаружения аномалий. Он записывает Id камеры, время инцидента, массив точек траектории и видеофрагмент. Это позволяет обеспечить доступность данных для дальнейшего анализа и обработки.

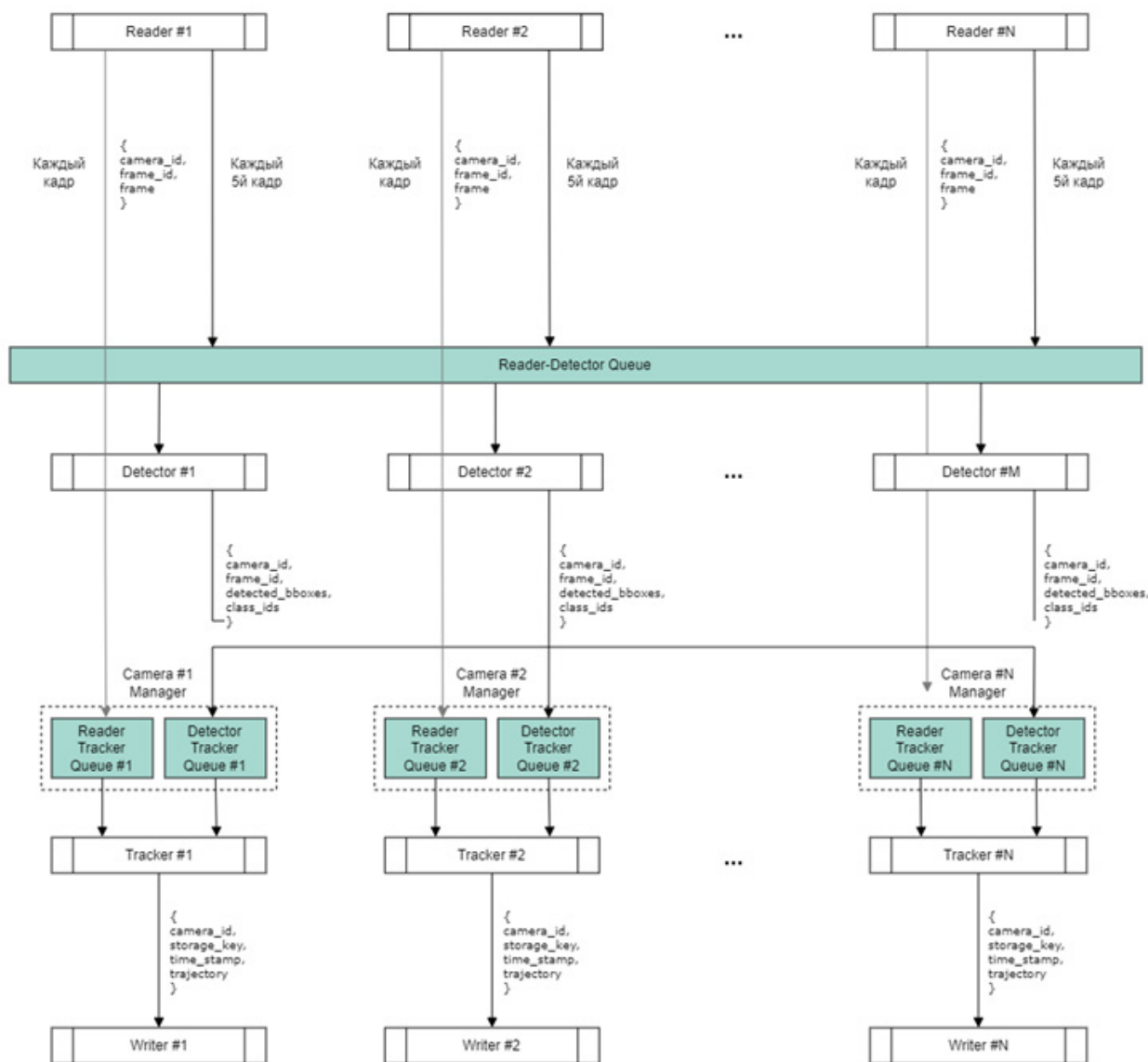


Рис. 2. Многопроцессорная архитектура системы

Для сбора данных о траекториях используется СУБД PostgreSQL [9], а для хранения видеофрагментов инцидентов – S3-хранилище MinIO [10].

Так, для обработки видеопотоков с 20 камер с количеством кадров в минуту равным 25, используется 20 процессов Reader, 1 Detector (при батче 128 кадров), 8 Manager, 8 Tracker, 20 Writer.

Такая архитектура позволяет быстро масштабировать решение для различного количества камер и требований к скорости обработки за счет изменения количества процессов обнаружения (Detector) и отслеживания (Tracker).

*Заключение*

В результате выполнения данной рабо-

ты была построена многопроцессорная архитектура системы для анализа дорожного движения и определения аномалий, способная обрабатывать RTSP-видеопотоки с множества городских камер в режиме реального времени. Это обеспечивает быстрое масштабирование решения для различного количества камер и требований к скорости обработки.

В дальнейшем возможно улучшение архитектуры за счет уменьшения количества дочерних процессов для управления очередями кадров для детекторов и трекеров. Это позволит увеличить количество видеопотоков, одновременно обрабатываемых с использованием аналогичных вычислительных ресурсов.

**Список литературы**

1. Mohandu, A., Kubendiran, M. Survey on Big Data Techniques in Intelligent Transportation System (ITS) // Materials Today Proceedings. – Today Proc., 2021. – С. 8-17.
2. Селезнёва, Т. А. Некоторые аспекты использования средств автоматизированной фиксации административных нарушений в г. Владивосток / Т. А. Селезнёва, В. А. Пресняков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8 (часть 4). – С. 19-22.
3. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения // Госавтоинспекция. – URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 15.05.2024).
4. Makhmutova, A., Anikin, I. V., Dagaeva, M. Object Tracking Method for Videomonitoring in Intelligent Transport Systems // In Proceedings of the 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon. – Sochi, Russia, 6–12 September 2020. – С. 535-540.
5. Поскребышев, Р. С. API на основе SOAP и REST / Р. С. Поскребышев, В. Г. Тарасов // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке : сборник материалов IV Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием, Ижевск, 20–21 апреля 2016 года / Ответственные за выпуск: А. П. Тюрин, В. В. Сяктерева. – Ижевск: ИННОВА, 2016. – С. 404-410.
6. Устройство планирования загрузки процессоров в мультипроцессорных системах критического назначения / Д. Б. Борзов, Р. Г. Басов, В. С. Титов, Ю. В. Соколова // Труды МАИ. – 2020. – № 115. – С. 14.
7. Борзов, Д. Б. Моделирование реконфигурируемой системы реального времени с учетом уменьшения временных затрат обработки информации / Д. Б. Борзов, М. А. Кочелев, Ю. В. Соколова // Труды МАИ. – 2021. – №117.
8. Traffic sign detection algorithm based on improved YOLOv4-Tiny / Y. Yao, Li. Han, Ch. Du [et al.] // Signal Processing: Image Communication. – 2022. – Vol. 107. – P. 116783.
9. Изучаем PostgreSQL 10. Оригинальное название: «Learning PostgreSQL 10» // Системный администратор. – 2019. – № 9 (202). – С. 76-86.
10. Суханкин, А. А. Настройка MINIO для работы через Docker / А. А. Суханкин // Мировые естественнонаучные исследования современности. Технический ПРОГРЕСС:

материалы VIII международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 31 мая 2023 года / АНО «НИИ ДПО». – Ростов-на-Дону: Манускрипт, 2023. – С. 84-85.

УДК 519.876.5; 004.415.2  
**ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ  
СВОЕВРЕМЕННОЙ АКТУАЛИЗАЦИИ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ  
ДИНАМИЧЕСКИ МЕНЯЮЩЕЙСЯ  
ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ**

**ASSESSMENT OF THE PROBABILITY  
OF TIMELY UPDATED INFORMATION  
MODEL DYNAMICALLY CHANGING  
SUBJECT DOMAIN**

*Шалагин С.В., д.т.н., доцент, профессор  
кафедры компьютерных систем ФГБОУ ВО  
«Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева –  
КАИ», г. Казань, Россия;  
ORCID: 0000-0002-2591-2749;  
E-mail: sshalagin@mail.ru; svshalagin@kai.ru*

*Shalagin S.V., doctor of technical science,  
Associate Professor, Professor of the Department  
of Computer Systems; Kazan National Research  
Technical University named after  
A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;  
ORCID: 0000-0002-2591-2749;  
E-mail: sshalagin@mail.ru; svshalagin@kai.ru*

**Аннотация**

Задача создания информационных моделей динамически меняющейся предметной становится всё более актуальной по мере развития цифровой индустрии 4.0. Пусть информационно-ресурсная и обновляемая информационная модель включает в себя элементы, которые имеют фиксированный объем и обновляются независимо друг от друга с заданной вероятностью. Примером такой модели может служить база данных с постоянным количеством записей фиксированного объема, каждая из которых динамически обновляется. Требуется обеспечить их своевременное обновление (то есть актуализацию модели) по каналу связи, который характеризуется пропускной способностью. Решены следующие задачи: 1) оценена нижняя оценка пропускной способности канала связи, требуемая для обновления элементов модели, причём на порядок обновления элементов данной модели могут быть наложены ограничения; 2) оценена вероятность своевременного обновления модели по каналу связи с заданной пропускной способностью. Полученные результаты будут полезны как при синтезе новых информационных моделей динамически меняющейся предметной области, так и при анализе уже созданных информационных моделей на предмет вероятности своевременной актуализации.

**Ключевые слова:** вероятностная оценка, информационная модель, обновление элементов, вероятность, пропускная способность

**Abstract**

The task of creating information models of a dynamically changing subject area is becoming more and more relevant as digital industry 4.0 develops. Let the information resource and updatable information model include elements that have a fixed volume and are updated independently of each other with a given probability. An example of such a model is a database with a constant number of fixed volume records, each of which is dynamically updated. It is required to ensure their timely updating (i.e. updating the model) via a communication channel that is characterized by traffic capacity. The following tasks have been solved: 1) the lower estimate of the traffic capacity of the communication channel required to update the elements of the model is estimated, and restrictions may be imposed on the order of updating the elements of this model; 2) the probability of timely updating the model via a communication channel with a given traffic capacity is estimated. The results obtained will be useful both in the synthesis of new information models of a dynamically changing subject area, and in the analysis of already created information models for the probability of timely updating.

**Keywords:** probabilistic assessment, information model, updating elements, probability, traffic capacity

*Введение*

Цифровая индустрия 4.0 предполагает массовое внедрение информационных технологий практически во все сферы жизни современного общества [1, 2, 3]. В данной связи особую актуальность приобретает задача создания информационных моделей (далее – ИнфМ) различных предметных областей (далее – ПрО). Если принять в качестве моделируемой ПрО производственный процесс, то становится актуальной задача создания цифрового двойника указанного процесса [4]. Особый интерес представляют ИнфМ, имеющие следующую особенность: данные о моделируемой ПрО перманентно обновляются в режиме реального времени. Согласно классификации [5], такие ИнфМ являются информационно-ресурсными и обновляемыми. Они структурно включают в себя не связанные между собой элементы. Примем допущение, что каждый из элементов ИнфМ имеет заданный объем и полностью обновляется в течение заданного интервала времени с заданной вероятностью независимо от других элементов. Примером реализации такой ИнфМ может быть база данных, записи внутри которой динамически обновляются, но общий объем базы и количество записей в ней остаётся неизменным.

Обновление каждого из элементов ИнфМ происходит через канал связи (далее – КС) с различными датчиками, поставляющими информацию в режиме реального времени. КС характеризуется пропускной способностью – возможностью передавать в течение заданного интервала времени определённый конечный объем информации. Следует отметить, что даже современные высокоскоростные КС имеют ограниченную пропускную способность [6, 7]. Данная характеристика КС требуется для вычисления вероятности своевременной актуализации ИнфМ динамически меняющегося объекта модели-

рования. Несвоевременная актуализация ИнфМ каузирует всевозможные aberrации при отображении и анализе динамически меняющихся объектов в режиме реального времени [8]. Особенно это проявляется при взаимодействии с указанной моделью искусственных акторов [9]. Под своевременной актуализацией элемента ИнфМ будем понимать возможность его обновления в течение заданного интервала времени (далее – Интервал) по общему КС, имеющему ограниченную пропускную способность. Решение указанной задачи, актуальной для развития цифровой индустрии 4.0, представлено в данной работе.

*Вероятностный закон обновления элементов ИнфМ*

Определим ИнфМ на основе характеристик  $m$  её элементов, заданных как множество из  $m$  пар

$$(V_i p_i) \tag{1}$$

где  $V_i$  – объем  $i$ -го элементов, а  $p_i$  – вероятность его обновления,  $i = 1, m$ .

На основе (1) и на основе выполнения марковского свойства [10, 11, 12] при обновлении каждого из элементов ИнфМ определим закон распределения вероятностей того, что в ИнфМ будут обновлены соответствующие элементы (далее – Закон). Закон включает в себя  $2^m$  значений и представим в виде:

$$\left\{ \sum_{j_i=0}^1 \dots \sum_{j_m=0}^1 \prod_{i=1}^m \varphi(p_i j_i) \right\} \tag{2}$$

Где

$$\varphi(p_i j_i) = \begin{cases} p_i & : j_i = 1 \\ (1-p_i) & : j_i = 0 \end{cases}$$

Каждому из  $2^m$  значений (2) ставится в соответствие двоичный вектор  $\{j_1 \dots j_m\}$ ,  $j_i \in \{0, 1\}$  обозначает, что  $i$ -й элемент либо будет обновлён в Интервал, если  $j_i = 1$ , либо не будет ( $j_i = 0$ ),  $i = 1, m$

Введём дополнительное ограничение на (1): пусть  $V_i \geq V_{i+1}, i = 1, m-1$ .

Обозначим пропускную способность КС как  $V_{КС}$  и введём функцию  $f(d) = \sum_{j=1}^d V_j, d = 1, m$ .

Требуется найти  $p_a$ , вероятность своевременной актуализации (обновления в Интервал) ИнфМ при заданных характеристиках (1) и  $V_{КС}$ .

Для  $p_a$  имеют место следующие свойства, которые определяют граничные условия задачи поиска указанной вероятности:

1) если  $f(m) \leq V_{КС}$  то  $p_a = 1$ .

2) если  $\min_{i=\overline{m-1}} (V_i) > V_{КС}$  то  $p = 0$ .

Свойство 1) имеет место, если ИнфМ имеет незначительный объем, либо если КС обладает очень высокой пропускной способностью. По мере роста сложности объектов моделирования из заданной Про растёт и объем данных, аккумулируемых и обновляемых в ИнфМ. Если же минимальный объем элемента ИнфМ превышает пропускную способность КС, то имеет место свойство 2). ИнфМ не может быть своевременно обновлена в Интервал. Следует отметить, что для некоторых ИнфМ обновляется не более 1 элементов в Интервал, вероятность такого события обозначим как  $p_a(l), l < m$ . Справедливо

Утверждение 1.  $p_a(l) = 1$  при условии,

что  $f(l) \leq V_{КС}, l < m$ .

Введём в рассмотрение функцию, которая позволяет определить, будут ли обновлены элементы ИнфМ, определённые согласно вектору  $\{j_1, \dots, j_m\}$ , в Интервал:

$$h(j_1, \dots, j_m) = \begin{cases} 1: V_{КС} \geq \sum_{i=1}^m V_i^{j_i} \\ 0: \text{иначе} \end{cases} \quad (3)$$

Тогда, согласно (2) и (3), значения:

$$p_a = \sum_{j_1=0}^1 \sum_{j_2=0}^1 \dots \sum_{j_m=0}^1 (h(j_1, \dots, j_m) \prod_{i=1}^m \varphi(p_i j_i)) \quad (4)$$

$$p_a(l) = \sum_{Q(j_i=1) \leq l} (h(j_1, \dots, j_m) \prod_{i=1}^m \varphi(p_i j_i)) \quad (5)$$

где  $Q(j_i=1)$  – количество единичных элементов в векторе  $\{j_1, \dots, j_m\}, j_i \in \{0, 1\}, i = \overline{1, m}$ .

В качестве примера рассмотрим частный случай ИнфМ для  $m = 3$ , причём величины  $p_1 = p_2 = p_3 = p = 0,1 \cdot k, k = \overline{1, 5}$ . Закон получен согласно (2), включает восемь значений, упорядочен по возрастанию количества обновляемых элементов ИнфМ и представлен в табл. 1 и на рис. 1. Особенности Закона, приведённого в примере, в том, что его значения равны для групп элементов под номерами 1, 2, 4 и 3, 5, 6. По мере увеличения значения  $p$  до 0,5 Закон приближается к равновероятному; при  $p = 0,5$  Закон (2) для данного примера становится равновероятным. По табл. 1 можно проследить, как меняются значения  $p_i$  Закона.

Таблица 1

Вероятности обновления элементов ИнфМ

p	Номер элементов			
	0 ( $\cdot 10^{(-3)}$ )	1, 2, 4 ( $\cdot 10^{(-3)}$ )	3, 5, 6 ( $\cdot 10^{(-3)}$ )	7 ( $\cdot 10^{(-3)}$ )
0,1	729	81,0	9,00	1,00
0,2	512	128	32,0	8,00
0,3	343	147	63,0	27,0
0,4	216	144	96,0	64,0
0,5	125	125	125	125

Согласно Закону, представленному в виде (2), определим среднее значение и дисперсию объёма информации [13], ко-

торую следует передать через КС для того, чтобы ИнфМ своевременно обновлялась (актуализировалась):

$$\bar{V} = \sum_{j_1=0}^1 \dots \sum_{j_m=0}^1 ((\sum_{i=1}^m V_i^{j_i}) \cdot \prod_{i=1}^m \varphi(p_i^{j_i})) \quad (6)$$

$$D\bar{V} = \sum_{j_1=0}^1 \dots \sum_{j_m=0}^1 ((\bar{V} - \sum_{i=1}^m V_i^{j_i})^2 \cdot \prod_{i=1}^m \varphi(p_i^{j_i})) \quad (7)$$

где значения  $\varphi(p_i^{j_i})$  определены в соответствии с (2). На основе (6) и (7) определим неравенство:

$$V_{КС} \geq \bar{V} + t_\alpha \cdot \sqrt{D(\bar{V})} \quad (8)$$

где  $t_\alpha$  – величина, определяющая для распределения Гаусса число среднеквадратических отклонений, которое нужно отложить относительно центра рассеивания, чтобы получить интервал, вероятность попадания в который была равна  $\alpha$ . Например, для  $\alpha=0,95$  значение  $t_\alpha=1,96$ .

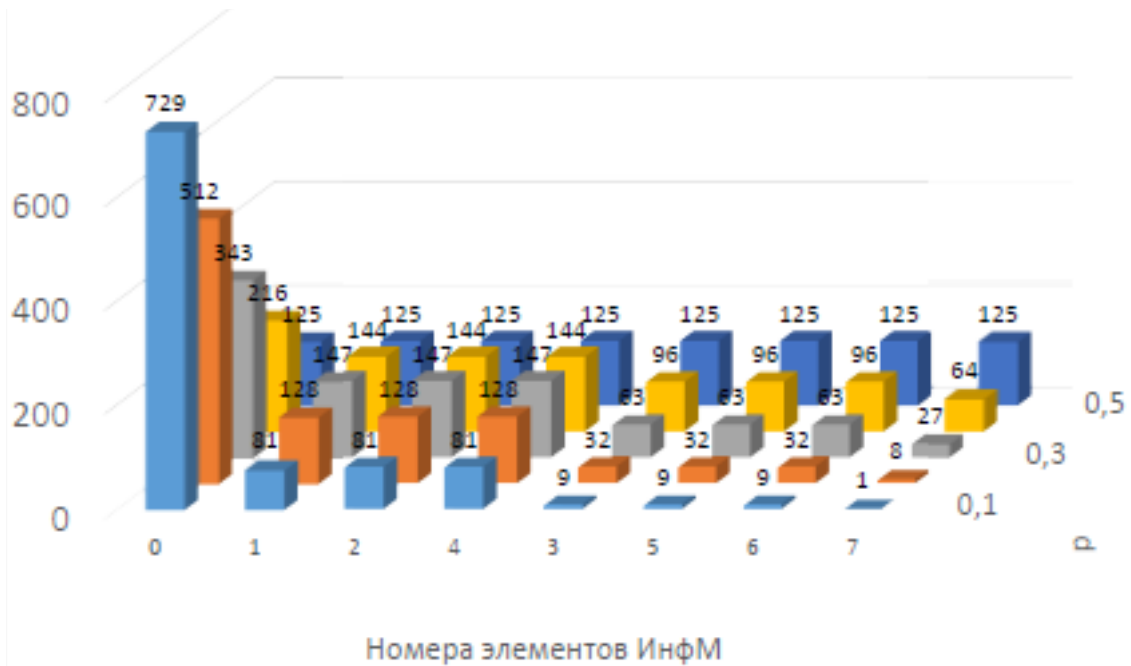


Рис. 1. Значения вероятностей обновления элементов ИнфМ

На основе вышеизложенного имеет место:

**Утверждение 2.** Верхняя оценка пропускной способности канала связи, которая требуется для своевременной актуализации с вероятностью  $\alpha$  информационной модели, заданной согласно (1), определена согласно (8) и равна:  $\bar{V} + t_\alpha \cdot \sqrt{D(\bar{V})}$

Пусть в приведённом примере значения  $V_1 = V_2 = V_3 = M/3$ , где  $M$  – общий объем элементов ИнфМ. Определим нижнюю оценку пропускной способности ( $V_{КС}$ ) КС, обеспечивающего своевременное обновление элементов ИнфМ, для значений  $p=0,1 \cdot k$ ,  $k=1,5$ .

Согласно данным, приведённым в табл. 1, и по формулам (6) и (7) значения  $\bar{V}$  и  $D(\bar{V})$  вычисленные в долях от  $M$ , приведены в табл. 2. Там же приведена нижняя оценка пропускной способности КС –  $\min V_{КС}$ , требуемой для актуализации в Интервал ИнфМ с вероятностью  $\alpha=0,95$ . Оценка вычислена согласно (8). Для  $p=0,5$  значение  $\min V_{КС} = \bar{V} + t_\alpha \cdot \sqrt{D(\bar{V})}$ , выраженное через величину  $M$ , превышает значение  $M$ .

Неравенство (8) работает и «в другую сторону». Перепишем его в виде:

$$\bar{t}_\alpha \leq (\bar{V} - V_{КС}) / \sqrt{D(\bar{V})} \quad (8)$$



Значения  $\bar{V}$  и  $D(\bar{V})$  вычисленные в долях от  $M$

Таблица 2

Параметр	$P$				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\bar{V}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$D(\bar{V}) \cdot 10^{(-3)}$	30,0	53,3	70,0	80,0	83,3
$\min V_{\text{КС}} \cdot 10^{(-3)}$	439	653	819	954	>1000

Неравенство (9) позволяет оценить вероятность того, что ИнфМ, заданная согласно (1), будет обновлена в Интервал по КС с пропускной способностью  $V_{\text{КС}}$ . Величина  $t_\alpha$ , представленная в (9), характеризует разброс границ доверительного интервала для случайной величины (СВ), распределённой по закону Гаусса с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1. Доверительная вероятность принадлежности СВ доверительному интервалу  $[-t_\alpha, t_\alpha]$  и является искомой вероятностью.

*Анализ полученных результатов*

В работе рассмотрены два способа оценки минимальной пропускной способности КС, которая требуется для обновления ИнфМ, заданной согласно (1).

Первый способ обоснован утверждением 1. В представленном примере для ИнфМ в случае, если происходит обновление в Интервал одного элемента, требуется КС с пропускной способностью  $M/3$ . В случае, если в Интервал обновляется не более двух элементов, то требуется КС с пропускной способностью  $2M/3$ . В общем случае, для ИнфМ, которая задана согласно (1), включает  $m$  элементов и в Интервал для неё происходит актуализация не более  $l$  элементов,  $l < m$ , требуется КС с пропускной способностью  $lM/m$ . При заданных условиях использования ИнфМ вероятность её обновления в Интервал будет равна 100%.

Второй способ обоснован утверждением 2. В представленном примере для ИнфМ в табл. 2 приведена нижняя оценка ( $\min V_{\text{КС}}$ ) пропускной способности КС, требуемого для обновления ИнфМ в Интервал с вероятностью  $\alpha=0,95$ . В общем случае, для ИнфМ, которая задана согласно (1) и включает  $m$  элементов, для обновления в

Интервал с вероятностью  $\alpha$ , требуется КС с пропускной способностью, вычисленной согласно (8).

Замечание. По способу 2 для уже созданных ИнфМ, описываемых в виде (1), существует возможность определить согласно (9) вероятность того, что такая ИнфМ будет обновлена за Интервал по КС с пропускной способностью  $V_{\text{КС}}$ .

Первый способ целесообразно применять, если для ИнфМ выполняется допущение об обновлении за Интервал не более чем  $l$  из  $m$  её элементов, причём  $lm$ . Второй способ применим в том случае, если есть допущения только о вероятностях обновления каждого из элементов ИнфМ.

*Заключение*

Полученные в работе результаты позволяют оценить пропускную способность КС, требуемую для обновления:

- $l$  из  $m$  элементов ИнфМ за Интервал;
- элементов ИнфМ за Интервал с заданной вероятностью.

Кроме того, результаты позволяют оценить вероятность обновления ИнфМ за Интервал при заданной пропускной способности КС. Данные оценки могут быть получены в случае, когда для каждого элемента ИнфМ будет задан его объем и вероятность обновления за Интервал.

Полученные результаты позволяют оценивать возможность синтеза новых ИнфМ динамически меняющейся предметной области, а также анализировать созданные ИнфМ на предмет своевременной актуализации. Решение указанной задачи актуально для моделирования динамически меняющейся предметной области. Количество таких областей постоянно увеличивается по мере развития цифровой индустрии 4.0.

## Список литературы

1. Seshia S. A. Design Automation of Cyber-Physical Systems: Challenges, Advances, and Opportunities / S. A. Seshia, S. Hu, W. Li and Q. Zhu – doi: 10.1109/TCAD.2016.2633961 – Текст: электронный // IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems. – 2017 – Vol. 36. – № 9. – Pp. 1421-1434. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7778207> (дата обращения: 12.06.2024).
2. Al-Ali A.R. Cyber physical systems role in manufacturing technologies/ A.R. Al-Ali, Ragini Gupta, Ahmad Al Nabulsi – Текст: электронный // AIP Conference Proceedings 1957. – 2018. – URL: <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5034337> (дата обращения: 12.06.2024).
3. Philbeck, T. The fourth industrial revolution: shaping a new era/ T.Philbeck, N.Davis – Текст: электронный / Journal of International Affairs – 2018. – Vol. 72. – № 1. – Pp. 17–22. – URL: <https://www.jstor.org/stable/26588339> (дата обращения: 12.06.2024).
4. Pavlov B.P. Digital transformation of the economy/ B.P. Pavlov, R.F. Garifullin, V.M. Babushkin, G.F. Mingaleev // Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020, Granada, Apr. 10–11, 2019. – Granada, 2019. – Pp. 3359-3364.
5. Павлов, А. И. Информационные модели и информационные единицы/ А. И. Павлов // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 6 (18). – С. 12-17.
6. Повышение удельной пропускной способности как фундаментальная проблема теории связи. Стратегия развития в постшенноновскую эпоху. Часть 2. Ретроспективный обзор методов приема и обработки сигналов в частотно-селективных каналах связи при наличии межсимвольных искажений / И. М. Лернер, Р. Р. Файзуллин, А. Н. Хайруллин [и др.] // Успехи современной радиоэлектроники. – 2023. – Т. 77. – № 2. – С. 16-33.
7. Лапшинский, В. А. От «стены памяти» к «стене датчиков» и обратно: архитектура SRAM-памяти с вычислительными возможностями / В. А. Лапшинский // Датчики и системы. – 2019. – № 6 (237). – С. 3-10.
8. Галанова, Г. Э. Когнитивные проблемы компьютерного моделирования в контексте культуры постмодерна / Г. Э. Галанова, С. В. Шалагин // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 1. – С. 178-182.
9. Shalagin, S. Concept Formalization in Designing: Roles of Natural and Artificial Actors / S. Shalagin, G. Shalagina // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2023. – Т. 44. – № 2. – С. 757-763.
10. Kemeny, J.G. Finite Markov Chains / J.G. Kemeny, J.L. Snell. – Princeton: Van Nostrand, 1960. – 210 p.
11. Romanovsky, V.I. Discrete Markov Chains/ V.I.Romanovsky. – 1st edition (Jan. 1, 1970). Groningen: Wolters-Noordhoff. – 1970. – 408 p.
12. Eminov, B. F. Representation and simulating of extended Markov chains over a finite field with a predefined precision / B. F. Eminov, V. M. Zakharov, S. V. Shalagin – doi: 10.1088/1742-6596/1368/4/042028. – Текст: электронный // Journal of Physics: Conference Series : V International Conference on Information Technology and Nanotechnology, ITNT 2019, Samara, May 21–24 2019. Vol. 1368, 4. – Samara: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 042028.
13. Вентцель, Е. С. Теория вероятности и математическая статистика / Е. С. Вентцель. – Москва : Наука, 1969. – 576 с.

УДК 378.14.015.62  
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В  
КУЛЬТУРЕ И ОБРАЗОВАНИИ

DIGITAL TECHNOLOGIES IN CULTURE  
AND EDUCATION

*Ахмадиева Р.Ш., д.пед.н., профессор, ректор  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный  
институт культуры»;  
Хусаинова Р.З., преподаватель  
кафедры музеологии, культурологии и  
искусствоведения ФГБОУ ВО «Казанский  
государственный институт культуры»,  
ведущий научный сотрудник ОСП «Научный  
центр безопасности жизнедеятельности  
Академии наук Республики Татарстан»,  
г. Казань, Россия*

*Akhmadieva R.Sh., Doctor of Pedagogical  
Sciences, Professor, Rector of the Kazan State  
Institute of Culture,  
Khusainova R.Z., Lecturer, Department of  
Museology, Cultural and Art History, Kazan State  
Institute of Culture, Leading Researcher of the  
«Scientific Center for Life Safety of the Academy  
of Sciences of the Republic of Tatarstan»,  
Kazan, Russia*

**Аннотация**

В статье приведена информация о влиянии цифровых технологий на деятельность учреждений культуры и образования. В рамках образовательной деятельности Казанского государственного института культуры показаны примеры успешного развития цифровой культуры. Приведены примеры успешной реализации цифровых проектов, таких как центр прототипирования, инжиниринговый центр.

**Ключевые слова:** цифровизация, цифровые технологии, стратегия, концепция, платформа, центр прототипирования, инжиниринговый центр

**Abstract**

The article provides information on the impact of digital technologies on the activities of cultural and educational institutions. It provides examples of how digital culture has been successfully developed through educational activities. The article also highlights examples of successful digital projects, including a prototyping center and an engineering center.

**Keywords:** digitalization, digital technologies, strategy, concept, platform, prototyping center, engineering center

Период с 2022 по 2031 г. в России объявлен Десятилетием науки и технологий. С целью совершенствования модели правового регулирования принят целый ряд стратегий: Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642), Стратегия экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 г. (утверждена указом Президента Российской Федерации от 13 мая 2017 г. № 208), Стратегия национальной безопасности Российской Федерации (утверждена указом Президента Российской Федерации от 2 июля 2021 г. № 400), Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г. (утверждена

распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 207-р), Указ Президента Российской Федерации «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» (от 21 июля 2020 г. № 474).

Также в 2022 г. Правительством Российской Федерации утверждены 42 стратегические инициативы социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 г., а также Концепция развития креативных индустрий до 2030 г., в которой подчеркивается необходимость развития национальной креативной экономики, основанной на человеческом капитале и историко-культурном наследии народов Российской Федерации. В 2024 г. утверждена Концепция сохранения и развития не-

материального этнокультурного достояния России до 2030 г.

Во многих документах говорится о значимости цифровой трансформации для развития различных областей науки и образования, создании новой цифровой среды [1].

Решению задач, направленных на развитие цифровых технологий, способствует целый ряд федеральных проектов, таких как «Искусственный интеллект», «Развитие кадрового потенциала ИТ-отрасли», «Развитие человеческого капитала в интересах регионов, отраслей и сектора исследований и разработок».

Привлечение ресурсов данных федеральных проектов позволяет улучшить материальную базу образовательных организаций, получить дополнительные компетенции как педагогов, так и обучающихся (например, при реализации проектов «Цифровые кафедры» и «Творческие люди»), разрабатывать новые цифровые, междисциплинарные исследования.

Цифровые технологии активно применяются на всех уровнях образования, начиная с дошкольников. Дети старшего дошкольного возраста уже уверенно пользуются планшетами, общаются в социальных сетях.

Для каждого нового поколения детей все более актуальной потребностью является погружение в цифровую среду. Необходимо использовать эту потребность, внедрять цифровые технологии для развития у школьников интереса к изучаемым дисциплинам, что в конечном итоге может повысить их результаты в усвоении материала.

Республика Татарстан является пилотным регионом в области цифровизации, где активно внедряются цифровые технологии во все сферы деятельности. Вице-премьер Дмитрий Чернышенко сказал: «Татарстан – это локомотив цифрового развития страны, что уже не первый год подтверждается лидирующими позициями в рейтинге руководителей цифровой транс-

формации. Уровень проникновения цифры в регионах отражает показатель цифровой зрелости отраслей экономики, который в Татарстане составляет 95%, а это один из лучших результатов в стране».

В век глобальной цифровизации все сферы деятельности человечества связаны с использованием цифровых технологий. Трансформируются государственные услуги, контрольно-надзорная деятельность. Многие уже пользуются сервисом «Госуслуги». Появляются новые профессии: дизайнер эмоционального опыта, инженер-робототехник, инженер виртуальной/дополненной реальности, цифровой продюсер и др.

Цифровые технологии активно внедряются в работу учреждений культуры, позволяют оцифровать огромное количество архивных и музейных фондов. Виртуальное посещение выставок, концертов и экскурсий стало неотъемлемой частью культурной жизни. На портале «Культура.РФ» в рамках проекта «Культурный стриминг» можно найти мероприятие на любой вкус, где любители искусства могут получить новый опыт и впечатления от посещения музея или не выходя из дома побывать на индивидуальной экскурсии, где невольно проникаешь в духовную и нравственную культуру народа, его традиционные ценности.

На портале культура.РФ в 2024 г. будет проведено более 600 онлайн-трансляций мероприятий, открыто 493 виртуальных концертных зала в 500 городах, создано 437 мультимедиагидов, а музеи и выставки получают возможность рассказывать об объектах культурного наследия в формате дополненной реальности.

Государство создает электронные порталы с целью знакомства граждан с культурным наследием. Например, на портале «Госкаталог. РФ» в цифровом виде доступны для изучения 34 млн изображений из музейных фондов нашей страны. В проекте «Артефакт», где использованы музей-

ные технологии дополненной реальности, на данный момент зарегистрировано более 800 музеев.

Оцифровка позволяет ежегодно вносить по 8000 книжных памятников в Национальную электронную библиотеку. К концу 2025 г. планируется совокупный охват молодежной аудитории не менее 730 млн просмотров в год.

Отметим, что онлайн-информация увеличивает интерес к офлайн-информации и посещению мероприятий в режиме офлайн. Так, например, в Национальной библиотеке Республики Татарстан бумажный вариант книги читают в 2 раза чаще, чем онлайн-вариант.

В Республике Татарстан выстраивается система непрерывного образования в сфере культуры. По инициативе Казанского государственного института культуры создана Концепция формирования культурной компетенции личности до 2030 г. Данная концепция была одобрена и утверждена Правительством Республики Татарстан. В соответствии с этой концепцией, задачами вузами становятся воспитание креативных личностей, в том числе обладающих цифровыми компетенциями, и создание всех условий для подготовки кадров с помощью открытия новых возможностей для развития и самореализации [2]. Даже если человек не будет работать в сфере культуры, навыки и компетенции, которые он приобретает во время творческой деятельности, помогут ему легко адаптироваться в любой профессии, т.к. креативное мышление помогает быстро находить выход из любой ситуации, выдвигать нестандартные идеи, создавать новые технологии и системы, методы ведения бизнеса и инструменты решения разнообразных задач.

В рамках данной концепции и в целях воспитания разносторонне развитых креативных личностей в республике проводится большое количество мероприятий федерального и международного масштаба, ориентированных на развитие цифровых

компетенций.

Так, например, в феврале в Казани в концепции фиджитал прошли Игры Будущего – международный мультиспортивный турнир по 21 дисциплине. При проведении соревнований были использованы разработки в областях геймдев, киберспорта, робототехники, дополненной и виртуальной реальности, информационных технологий и искусственного интеллекта.

С целью расширения обмена опытом по продвижению цифровизации во все сферы социально-экономического развития, ежегодно в Казани проводится международный форум Kazan Digital Week (далее – KDW). На этой новой площадке научного и делового сотрудничества ведется обсуждение работы специалистов по разработке и продвижению инновационных цифровых решений по 10 ключевым направлениям: система государственного управления, интеллектуальные транспортные системы, индустрия 4.0, кибербезопасность, экосистема финтех, инновации, интегрированные в бизнес, образование, культура, здравоохранение и медицина, сельское хозяйство.

В программных мероприятиях в онлайн- и офлайн-форматах ежегодно принимают участие более 10 тыс. человек.

Одним из организаторов KDW является Казанский государственный институт культуры, который активно развивает цифровую культуру и вносит существенный вклад в развитие креативной личности.

Чтобы оставаться конкурентоспособным образовательным учреждением в сфере культуры и повышать эффективность работы, уже недостаточно сохранять академическое образование, требуется скорейшее обновление знаний и обучение новым навыкам студентов, так как именно наши выпускники должны уметь использовать цифровые технологии в сфере культуры.

Примером является проект нашего вуза «Капсула времени», где в цифровом формате собраны лучшие образцы культурного

наследия народов России. Новые цифровые решения в культуре необходимо внедрять в учреждения культуры, поэтому в течение последних лет по поручению Минкультуры России вуз активно проводит курсы повышения квалификации для специалистов в области культуры и искусства в рамках национального проекта «Культура». На сегодняшний день институтом обучено более 8 тыс. человек со всей России.

Современные реалии диктуют нам новые требования и в части организации образовательного процесса. Необходимо разрабатывать новые образовательные программы, ориентированные на взаимодействие с бизнес-структурами и обеспечивающие мягкое вхождение творческой молодежи в креативный бизнес.

Для достижения этих целей вуз активно принимает участие в проектах федеральной инициативы «Платформа университетского технологического предпринимательства» и платформа «Университет 2035». Такие инициативы служат объединению бизнеса, науки и учебных заведений Российской Федерации. Очень интересно, как студенты, взаимодействуя с бизнес-партнерами, находят новые идеи для своих проектов. Так у ребят появилась идея виртуально научить танцевать сначала людей пожилого возраста, а позже этот проект доработался и уже вырос в проект работы с людьми с ДЦП, обучению их хореографии.

Влияние творчества на личность человека и его жизненно важные структуры организма – одна из перспективных (на наш взгляд) тем междисциплинарного исследования. В результате многолетнего сотрудничества Казанского института культуры и Московской академии медицинской реабилитации, клинической психологии и музыкотерапии родился новый проект. Целью Проекта является проведение масштабных междисциплинарных гуманитарно-естественнонаучных исследований влияния музыкально-акустических воздействий, других продуктов духовного наследия, ин-

тегрированных с информационными технологиями и искусственным интеллектом, на социум, личность. Создан Инновационный центр междисциплинарных исследований социокультурных и медико-психологических ресурсов здоровья. Задача данного центра – изучить влияние музыки на человека, в том числе кровеносную систему, головной мозг [3].

Студенты с большим интересом включаются в такого рода исследования. Большая образовательная программа прошла у нас благодаря федеральному проекту «Платформа университетского технологического предпринимательства». В рамках акселерационной программы «Цифровая арт-терапия» прошли обучение более 600 студентов. Они разработали более 70 проектов, все они направлены на социальную сферу, на диалог культур. Многие из проектов затронули тематику арт-терапии. Например, девочка, сестра которой – инвалид с детства, разработала логоритмическое приложение для детей с ДЦП, а студенты, обучающиеся по направлению «Народный хор», разработали музыкально-терапевтический тренинг «Волжская мелодия» на основе музыкально-инструментального искусства Волго-Камского поликонфессионального региона. Данные проекты получили поддержку на реализацию стартапа по 1 млн руб. Сейчас в вузе обучается уже 12 миллионеров, и мы надеемся, что их станет больше.

Самобытность творческой профессии такова, что люди, поступающие в творческие вузы, как правило, с детства начинают осваивать азы профессии. Поэтому, разрабатывая новые образовательные программы, очень важно выстроить систему непрерывного образования, учитывая предыдущие уровни образования абитуриента. Мы ориентируемся на разные направления деятельности.

Этому способствует реализация федеральной программы «Придумано в России», в рамках которой по всей России

создаются школы креативных индустрий, творческие лаборатории, центры прототипирования, гений места, ориентированные на обучение творческих личностей работе по направлениям креативных индустрий с применением цифровых технологий [4].

В рамках программы на базе Казанского государственного института культуры создан центр прототипирования, основная деятельность которого направлена на оказание услуг по созданию цифрового контента и обучению всех желающих реализации своих творческих проектов с применением инновационных технологий.

Полезен и опыт проведения хакатонов – конкурсов цифровых проектов в сфере культуры. Интерес представляют совместные командные разработки. Например, мобильное приложение «Песни народов Поволжья», разработанное командой студентов-программистов, студентов-хореографов и культурологов университета Иннополис. Оно получило высокую экспертную оценку. Приложение включает: календарь с песнями, меню и рецепты в соответствии с фольклорными праздниками и традиционной кухней.

Современные реалии диктуют нам требования по подготовке новых кадров для сферы культуры, которые будут обладать цифровыми компетенциями. В связи с этим в настоящее время вуз активно внедряет в образовательный процесс новые направления. Например, на базе Инжини-

рингового центра вуза открыт курс по изучению цифровой моды, где студенты осваивают специальные программы, такие как CLO 3D и Marvelous Designer, с помощью которых создают трёхмерное проектирование одежды. Уже создано несколько этноколлекций, которые представлены на модных показах в Италии, Швеции, Киргизии, Узбекистане, Казахстане.

Также Инжиниринговым центром разработан целый ряд виртуальных тренажеров для обучения студентов гончарному ремеслу, деревообработке, созданию костюмов [5].

В 2023 г. открыт Музей дополненной реальности народов Поволжья – русских, татар, башкир, мордвы, марийцев, чувашей и удмуртов. Уникальная музейная экспозиция знакомит с культурой народов Поволжья, погружая посетителей в виртуальную реальность – в пространство деревенского дома XIX века с аутентичными предметами быта.

Необходимо отметить, что подобные междисциплинарные проекты рождаются неслучайно. Есть четкие запросы общества (сферы бизнеса, производства) и повышенный интерес общественности к креативным индустриям, к дисциплинам, находящимся на стыке сфер культуры и образования. Все это свидетельствует о необходимости воспитания разносторонне развитой культурной и креативной личности.

### Список литературы

1. Ахмадиева, Р. Ш. Цифровая образовательная среда творческого вуза / Р. Ш. Ахмадиева, Т. В. Леонтьева; Сост.: Р.Ш. Ахмадиева, Р.Н. Минниханов; Под общей ред. член-корр. Академии наук Республики Татарстан, д-ра техн. наук, проф. Р.Н. Минниханова // Международный форум Kazan Digital Week – 2023: сборник материалов. – Казань: ГБУ «НЦБЖД», 2023. – Ч. 1.
2. Ахмадиева, Р. Ш. Векторы развития научно-исследовательской деятельности Казанского государственного института культуры / Р. Ш. Ахмадиева // Вестник ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», Казань. – 2024. – № 2. – С. 94–102.
3. Ахмадиева, Р. Ш. Социально-культурная деятельность в пространстве современного мира: технология прорывов и сохранение традиций // Современная цифровая среда вузов культуры: коллективная монография. – ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры. – Казань, 2023.

4. Ахмадиева, Р. Ш. Цифровая трансформация и креативная экономика в образовательном пространстве творческих вузов / Р. Ш. Ахмадиева, Ш. Р. Минниханов // Вестник НЦБЖД. – 2022. – № 4. – С. 4–8.

5. Ахмадиева, Р. Ш. Деятельность инжинирингового центра Казанского государственного института культуры: перспективы развития / Р. Ш. Ахмадиева // Муниципальное образование: инновации и эксперимент. – 2021. – № 5 (80). – С. 5–8.

УДК 004.89

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА  
В ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКЕ**

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE  
EFFECTIVENESS  
IN HIGHER MATHEMATICS**

*Басюк В.А., студент Института автоматизации и электронного приборостроения, кафедры стандартизации, сертификации и технологического менеджмента;  
E-mail: basyuk.vita@bk.ru;  
Гараев Т.К., к.т.н., доцент кафедры специальной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;  
E-mail: Garaev77@mail.ru*

*Basyuk V.A., student of Institute of Automation and Electronic Instrumentation, Department of Standardization, Certification and Technological Management;  
E-mail: basyuk.vita@bk.ru;  
Garaev T.K., candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Special Mathematics, A.N. Tupolev KNITU-KAI, Kazan, Russia;  
E-mail: Garaev77@mail.ru*

**Аннотация**

Проведены исследования применения искусственного интеллекта при изучении высшей математики. Проведен анонимный опрос среди обучающихся в КНИТУ им А.Н. Туполева– КАИ. Проведен анализ широко применяемых платформ искусственного интеллекта обучающимися. Выявлены преимущества и недостатки применения искусственного интеллекта в процессе обучения. Приведены примеры некорректной работы приложений и программ искусственного интеллекта.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, высшая математика, задача, решение, студент, обучение, анализ

**Abstract**

The research on the application of artificial intelligence in the study of higher mathematics has been conducted. An anonymous survey among students at KNITU-KAI named after A.N. Tupolev was conducted. The analysis of widely used artificial intelligence platforms by students has been carried out. Advantages and disadvantages of using artificial intelligence in the learning process are revealed. Examples of incorrect operation of artificial intelligence applications and programmes are given.

**Keywords:** artificial intelligence, higher mathematics, task, solution, student, learning, analysis

Новые современные технологии оказывают значительное влияние на повседневную жизнь общества. Одни улучшают качество жизни, создавая новые возможности и вызывая изменения в жизненных сферах, другие негативно влияют на жизнедеятельность человека. Самая быстроразви-

вающаяся модель новых технологий – это искусственный интеллект. Искусственный интеллект (далее – ИИ) – это компьютерная программа, способная решать различные задания, требующие интеллектуальных способностей человека. ИИ стремится повторить человеческое мышление, уме-



ния принимать решения и решать проблемы, используя алгоритмы и нейронные сети. Одной из ключевых характеристик ИИ является способность анализировать большие объемы информации, выявлять закономерности и принимать решения на основе данных, вычислять задачи высшей математики. ИИ широко применяется в образовательной сфере [1]. Обучающиеся применяют ИИ при решении задач по математике. Изучая высшую математику [2, 3], обучающиеся все чаще применяют ИИ, который может выдавать алгоритм решения и получить ответы математических задач. Применение ИИ может решить некоторые проблемы адаптации обучающихся в процессе обучения [4].

Обучающиеся широко применяют такие платформы, как ChatGPT и Photomath. ChatGPT (Generative Pre-trained Transformer) – это чат-бот, который использует технологию глубокого обучения для генерации текста и взаимодействия с пользователями в реальном времени. Чат-бот [5] способен понимать и обрабатывать естественный язык, что позволяет ему от-

вечать на вопросы, решать математические задания, генерировать изображения, предоставлять информацию или просто поддерживать беседу с пользователем. Photomath – это инновационное мобильное приложение, которое использует технологию ИИ для решения математических задач с помощью камеры смартфона или самостоятельного введения задания. Уникальность Photomath заключается в его способности распознавать и анализировать математические выражения, предоставляя пользователю подробное пошаговое решение, объяснение и верный ответ. Это инновационное приложение обеспечивает быструю и точную помощь в выполнении математических задач. Казалось бы, это надежные программы, однако применение ИИ в образовательном процессе может привести к необратимым явлениям.

Среди 182 обучающихся КНИТУ им. А.Н. Туполева – КАИ первого курса проведен анонимный опрос (рис. 1). Опрос выявил, что 94,5% обучающихся знакомы с ИИ, 5,5% с ИИ не сталкивались.

Знаете ли вы, что такое искусственный интеллект?

182 ответа



Рис. 1. Искусственный интеллект среди обучающихся

Из 182 обучающихся 66,5% применяют ИИ при решении математических задач (рис. 2).

Используете ли вы искусственный интеллект при решении математических задач?

182 ответа



Рис. 2. Применение ИИ обучающимися при решении математических задач

Применение ИИ при вычислении задач высшей математики может быть неодно-

значным. Опрос (рис. 3) показал, что обучающиеся применяют ИИ с разными целями.

Для чего вы применяете искусственный интеллект?

214 ответов

Для проверки ответа задания по математике	91 42.5%
Для проверки алгоритма решения задания по математике	83 38.8%
Для решения задачи по математике	40 18.7%

Рис. 3. Применение ИИ обучающимися

42,5% обучающихся применяют ИИ для проверки ответа, 38,8% используют для проверки алгоритма решения задания, а 18,7% используют для решения задач. Многие математические задачи, которые требуют от обучающихся умения вычислять, теперь могут быть решены с помощью электронных приложений ИИ. Это может привести к тому, что обучающиеся перестанут производить вычисления само-

обходимых математических компетенций. К тому же, электронное вычисление может оказаться недостоверным и не подходящим для некоторых математических задач.

Пример 1.

В ИИ ChatGPT и Photomath введем задание на вычисление определенного интеграла, которое необходимо вычислить решить методом замены переменной. В Photomath решение имеет вид (рис. 4):

The screenshot shows the Photomath app interface with the following steps:

- Step 1:**  $\int_2^4 \frac{\sqrt{x} + 1}{\sqrt{x}} dx$ . Instruction: Найти неопределенный интеграл.
- Step 2:**  $\int \frac{\sqrt{x} + 1}{\sqrt{x}} dx$ . Instruction: Преобразовать выражения.
- Step 3:**  $\int \frac{x^{\frac{1}{2}} + 1}{x^{\frac{1}{2}}} dx$ . Instruction: Разложить дробь.
- Step 4:**  $\int \frac{x^{\frac{1}{2}}}{x^{\frac{1}{2}}} + \frac{1}{x^{\frac{1}{2}}} dx$ . Instruction: Выполнить деление.
- Step 5:**  $\int 1 + \frac{1}{x^{\frac{1}{2}}} dx$ . Instruction: Вычислите значение выражения.
- Final Solution:**  $x + 2\sqrt{x}$ . Instruction: Вернуть пределы интегрирования.
- Final Answer:**  $(x + 2\sqrt{x}) \Big|_2^4 = 4 + 2\sqrt{4} - (2 + 2\sqrt{2}) = 6 - 2\sqrt{2}$ . Instruction: Упростить.

Рис. 4. Пример 1 в Photomath

На рис. 4 показано, что это приложение Photomath вычислило интеграл, но другим методом. Возможность в Photomath выбора метода решения не предусмотрена, что не является преимуществом.

Рассмотрим этот же пример в ChatGPT в социальной сети Telegram (рис. 5). Chat GPT произвела вычисления определенного интеграла требуемым методом – с помощью замены переменной (рис. 5). В Chat

GPT также отсутствуют возможности выбора метода вычислений.

Исходя из приведенных примеров, вычисление интеграла требуемым методом – с помощью замены переменной – получено только в одном случае.

Пример 2.

Вычислить интеграл  $\int xe^x dx$

Введем интеграл в ChatGPT (рис. 6). Получим:

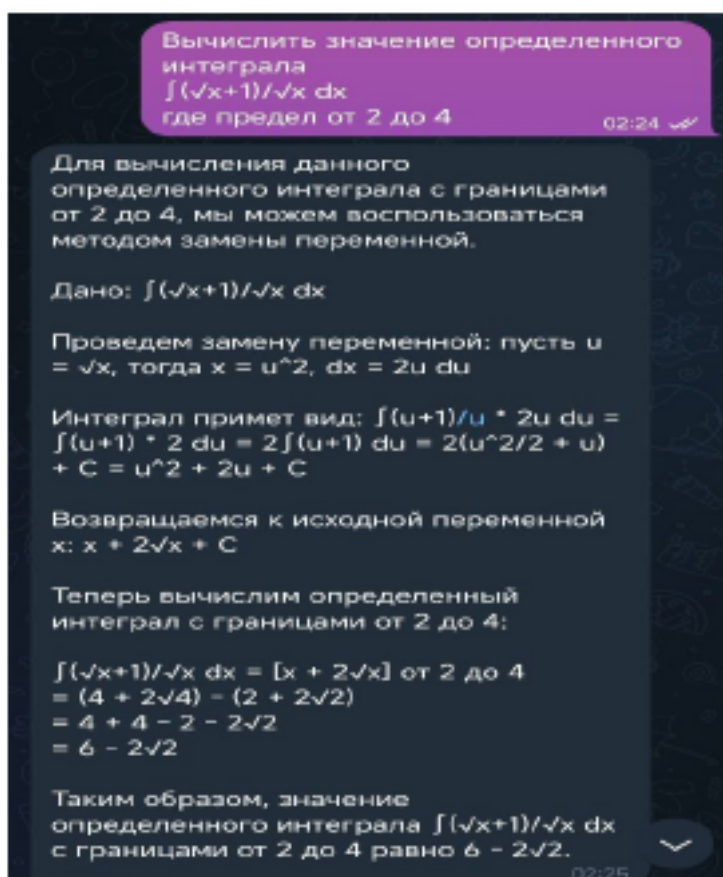


Рис. 5. Пример 1 в ChatGPT

На рис. 6. интеграл был вычислен неверно, так как  $dv=e^x dx$  был принят с отрицательным знаком  $dv \neq e^x dx$ , что привело к ошибочному решению. Исходя из этого, обучающийся не может получить верное решение, в связи с чем неизвестно, насколько достоверно и точно ИИ может получить решение.

Эксперименты вычислений математических задач с помощью ИИ показали, что ИИ

– это современная технология, которая может не только облегчить процесс изучения высшей математики, но и привести к необратимым последствиям. В связи с применением ИИ у обучающихся возможно ухудшение мыслительных навыков ввиду отсутствия наработанных компетенций. Применяя ИИ, важно соблюдать баланс между использованием различных программ ИИ и традиционными способами решения задач.

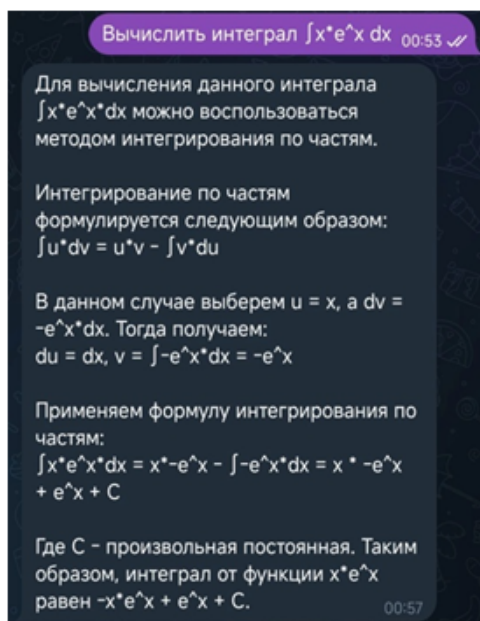


Рис. 6. Пример 2 в ChatGPT

ИИ возможно применять для проверки алгоритма решения или ответа домашнего задания, но это тоже не может гарантировать достоверность полученных вычислений. Обучающиеся могут ис-

пользовать ИИ как инструмент для улучшения своих мыслительных навыков, но не заменяя их. Также применение ИИ необходимо исключить при сдаче контрольных работ, тестов, экзаменов и зачетов.

### Список литературы

1. Гараев, Т. К. Искусственный интеллект в высшем образовании глазами студентов / Т. К. Гараев, Н. С. Новик // Мир образования – образование в мире. – 2023. – № 3 (91). – С. 221–229.
2. Ахметова, Я. Т. Исследование восприятия учебного материала по высшей математике / Я. Т. Ахметова, Т. К. Гараев // Нигматуллинские чтения – 2023 : Сборник докладов Международной научной конференции, Казань, 09–12 октября 2023 года. – Казань : Академия наук Республики Татарстан, 2023. – С. 375–379.
3. Гизитдинова, Е. А. Исследование восприятия методического материала по высшей математике / Е. А. Гизитдинова, Т. К. Гараев // Методы и технологии обучения в вузе в условиях цифровой трансформации образования : Сборник статей по материалам Всероссийской (с международным участием) научно-методической конференции, Пермь, 18–19 мая 2023 года. – Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2023. – С. 692–695.
4. Ткаченко, С. А. Пути решения проблем уровня успеваемости по математике в условия адаптации иностранных обучающихся / С. А. Ткаченко, Н. С. Новик, Т. К. Гараев // Нигматуллинские чтения – 2023 : Сборник докладов Международной научной конференции, Казань, 09–12 октября 2023 года. – Казань : Академия наук Республики Татарстан, 2023. – С. 411–414.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024616435 Российская Федерация. Квиз в чат-боте : № 2024614956 : заявл. 13.03.2024 : опубли. 20.03.2024 / А. Р. Магомедов, Т. К. Гараев, Р. Е. Моисеев; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ».

УДК 37.026.6

## ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ГЕЙМИФИКАЦИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ КАК КОМПОНЕНТА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

## DIGITAL GAMIFICATION TOOLS FOR KNOWLEDGE ASSESSMENT AS A COMPONENT OF THE EDUCATIONAL PROCESS

Галимуллина Н.М., к.и.н., доцент кафедры социологии, политологии и менеджмента ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»;

ORCID: 0000-0002-5073-2758;

Феоктистова И.Р., к.и.н., доцент кафедры философии и социально-политических дисциплин ЧОУ ВО «Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирязова (ИЭУП)», г. Казань, Россия

Galimullina N.M., candidate of historical sciences, associate professor of the Department of Sociology, Political Science and Management, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI; ORCID: 0000-0002-5073-2758;

Feoktistova I.R., candidate of historical sciences, associate professor of the Department of Philosophy and Socio-Political Disciplines, Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov (IEP), Kazan, Russia

### Аннотация

Условия постоянно усиливающейся цифровизации влияют на текущий выбор педагогических средств и инструментов. В цифровом пространстве применимы и принципы переноса игровых элементов в неигровые ситуации – геймификация. Основными преимуществами геймификации процесса обучения и педагогического контроля выступают возможность повышения мотивации студентов, активизация их участия в образовательном процессе, в том числе, с помощью привнесения в привычные образовательные ситуации соревновательного компонента. Цифровизация данного аспекта обучения требует специальной подготовки как педагога, так и обучающегося. Онлайн – инструменты, основанные на игровых механизмах, как правило, представляются студентам в виде ссылок на прохождение заданий на специальных учебных ресурсах. В рамках данного исследования были проанализированы онлайн платформы, которые можно использовать в обучении, развивая мотивацию и вовлеченность студентов. На примере дисциплины «Основы проектной деятельности» были выявлены особенности восприятия обучающимися различных курсов применения веб-квестов и веб-квизов как инструментов геймификации оценки знаний. В качестве методов исследования были использованы наблюдение, эксперимент, социологический опрос.

**Ключевые слова:** геймификация, дигитализация образования, цифровые инструменты педагога, возрастная психология, образовательная онлайн-платформа, веб-квиз, веб-квест, онлайн-тестирование

### Abstract

The conditions of ever-increasing digitalization affect the current choice of pedagogical tools and tools. In the digital space, the principles of transferring game elements to non-game situations – gamification – are also applicable. The main advantages of gamification of the learning process and pedagogical control are the possibility of increasing students' motivation, activating their participation in the educational process, including by introducing a competitive component into familiar educational situations. Digitalization of this aspect of education requires special training for both the teacher and the student. Online tools based on game mechanisms are usually presented to students in the form of links to completing tasks on special educational resources. As part of this study, we analyzed online platforms that can be used in teaching, developing students' motivation and engagement. Using the example of the university course «Fundamentals of Project Activity», the peculiarities of students' perception of various courses

using web quests and web quizzes as tools for gamification of knowledge assessment were revealed. Observation, experiment, and sociological survey were used as research methods.

**Keywords:** gamification, digitalization of education, digital tools of the teacher, age psychology, online educational platform, web quiz, web quest, online testing

#### *Введение*

Цель образования сегодня – создать новую образовательную парадигму, которая подготовит рабочую силу к новым вызовам реальной практической деятельности, при этом ориентация должна быть на отбор наиболее эффективных практик. Согласимся, что «пандемия привела к значительному и быстрому расширению использования цифровых инструментов в образовании, что потребовало разработки руководящих принципов по их использованию» [1, с. 289]. При этом цифровизация не должна стать самоцелью. Несмотря на переход на дистанционные технологии, важно сохранить и даже усилить методы активизации обучающихся как важной аудитории педагогического процесса. Одним из таких методов является геймификация. Под геймификацией мы можем понимать внедрение игровых элементов в неигровую среду для повышения вовлеченности людей и эффективности их деятельности. Согласимся, что «развитие интереса... растёт, когда ученик может играть... Для увеличения их заинтересованности учителю помогают цифровые инструменты, которые реализуются в игровой форме» [2, с. 156].

#### *Методика*

При проведении исследования авторы прибегли к методам теоретического исследования (анализ и последующий синтез научной литературы, мысленное моделирование) и методам эмпирического исследования (наблюдение, эксперимент, социологический опрос).

Работа расширена кратким обзором наиболее эффективных онлайн-платформ, с помощью которых можно разработать, разместить и провести веб-квесты и веб-квизы как инструменты геймификации образовательного процесса: «Удоба», «Joyteka», Learning Apps.

Прикладные исследования были ориентированы на сбор эмпирических данных о применении цифровых педагогических инструментов на практике. Авторы внедрили в учебный процесс веб-квест и веб-квиз. При прохождении данных заданий к обучающимся был применен метод наблюдения: преподаватель фиксировал особенности прохождения квеста и квиза студентами, отмечал эмоциональное и ценностное отношение к представленным педагогическим инструментам.

В качестве экспериментальной составляющей студенты в контрольных группах получили информацию о дополнительном поощрении для участников, продемонстрировавших лучший результат по комплексному критерию: скорость и верность выполнения заданий.

Социологический опрос в формате анкетирования предоставил возможность провести ауторефлексию обучающимися процесса прохождения веб-квеста и веб-квиза. Анализ полученных в ходе анкетирования результатов позволил структурировать оценки студентами потенциала и ограничений внедрения подобных цифровых инструментов в образовательный процесс. Вопросы демографического блока не были расширенными. Исследователей в первую очередь интересовал возраст респондента, т.к. согласно сформулированной в рамках составления программы исследования гипотезы, возрастной параметр способен оказать воздействия на мотивацию и, следовательно, результативность прохождения задания.

Синергетический эффект от последовательного применения трех методов эмпирического исследования, направленных на одну целевую группу (объект исследования), дают возможность быть уверенным в валидности и надежности полученных результатов.

*Основная часть*

Цифровые инструменты становятся важным методологическим арсеналом при подготовке обучающихся как среднего общего уровня образования, образования среднего профессионального образования, так и в высшей школе. Ученые настаивают, что «образовательные учреждения должны обеспечивать интерактивную среду обучения, которая пробуждает интерес у учащихся и мотивирует их к более активному участию в процессе» [3].

Так, «опрос 350 студентов показал, что цифровые инструменты значительно повышают вовлеченность, мотивацию и успеваемость учащихся» [4, с. 359]. Согласимся, что «интеграция досуга и обучения, превращая образовательный процесс в игровой процесс, не только делает обучение более увлекательным, но и поощряет активное участие учащихся» [5] и именно игровой подход «может привести к лучшему пониманию информации, совершенствованию способностей и навыков учащихся» [6, с. 16]. В исследовании 2024 г. с привлечением 173 респондентов из числа студентов было выявлено, что 41,6% отметили интерактивную онлайн-игру (соответствие традиционных народных костюмов и этносов и т. п.) как наиболее эффективное средство обучения [7, с. 245]. Однако такие проблемы, как технические трудности, ограниченный доступ к ресурсам и недостаточная подготовка как преподавателей, так и учеников, препятствуют эффективному использованию подобных инструментов.

Безусловно, при применении цифровых образовательных платформ и конкретных средств, представленных на них, необходимо учитывать особенности возрастной психологии и специфику преподаваемого предмета. В любом случае наиболее успешным видится применение цифровых технологий, не только в обучении, но и в рамках оценки сформированности компетенций, то есть в рамках текущей и

промежуточной аттестаций по читаемым дисциплинам. Наиболее подходящими инструментами, нацеленными на реализацию описанных задач следует назвать квизы и квесты, используемые сегодня не только в традиционном формате офлайн, но и в цифровом формате.

Квиз (наиболее близкий русскоязычный вариант «викторина») представляет собой интерактивный инструмент, применимый как для развлечения, так и для реализации обучающих функций. Если говорить о применении квизов в образовательных целях, то в большей степени квизы могут быть использованы как оценочный инструмент: они позволяют как ранжировать усвоение теоретического материала, так и выступить индикатором сложных в освоении дидактических единиц, сигнализировать о лакунах в личной образовательной траектории, пробелах в освоении дисциплины каждого конкретного обучающегося.

При выполнении заданий квиза обучающимся предлагается ответить на ряд вопросов, как правило, с возможностью выбора из представленных методистом вариантов одного или нескольких верных и/или фиксации своей собственной формулировки решения (вопросы открытого типа), что сближает данный педагогический инструмент с традиционным форматом тестирования. Механика квиза подразумевает наличие или отсутствия ограничения по времени, отведенному на выполнение задания, но, как правило, квиз содержит несколько вопросов и при подсчете итогового результата суммируется количество правильных ответов, данных учеником, каждый из которых может иметь свой «вес» – балльное насыщение в зависимости от сложности оцениваемой области знаний, необходимости делать дополнительные вычисления, привлекать материал из смежных дисциплин. При подготовке подобного педагогического инструмента необходимо оценивать трудоемкость представленного задания и не забывать о функции вовлечения

в образовательный процесс, ради которой традиционные сложные с дидактической точки зрения тестовые опросные материалы могут быть заменены на тестирование «малого» и простого формата – квиз. Современные цифровые технологии позволяют перенести квизы в Интернет-пространство, при этом сделав их еще более удобными в применении, зрелищными, увлекательными.

Квест как педагогический инструмент представляет собой задание, сопряженное с выполнением дополнительных условий, ведущих к возможности применения междисциплинарного и комплексного подхода. В этом инструменте объединяются элементы разной направленности: психодрама, тренинг, сюжетно-ролевая игра. Цифровая образовательная среда способна добавить «интерактивные элементы, вовлекающие обучающихся: карточки с заданиями; инструменты для «перетаскивания/перемешивания» объектов; музыкальный фон как способ маркировать правильно/неправильно выполненные задания; сканирование QR-кода и т. д. [8, с. 76]. Использование подобных инструментов повышает познавательный интерес к изучаемому предмету, развивает наряду с коммуникативными навыками внимание, наблюдательность, память, мышление [9].

При трансфере квестов и квизов в цифровое пространство необходимо использовать специализированные платформы.

Среди подобных платформ необходимо отметить конструктор учебных средств «Удоба», на котором представлены вариативные шаблоны для создания интерактивного контента, в том числе, квизов тестовых форматов, при этом разработчики предусмотрели возможность обогащения заданий аудио-, видео- и графическим контентом.

Платформа Learning Apps снабжена русскоязычным интерфейсом, что упрощает доступ к библиотеке заданий, созданных другими авторами. Геймификация наи-

более полно представлена в рамках таких заданий, как аналог игры-викторины «Кто хочет стать миллионером» и соревнование на количество правильно выбранных ответов «Скачки».

Портал Joyteka среди прочего дает возможность использовать шаблоны квестов по поиску вопросов в поле задания для последующего ответа на них.

Следует отметить, что внедрение соревновательных аспектов, основанных на геймификации педагогического процесса с переносом игровых методик в цифровое пространство, способно активизировать работу обучающегося, воздействовать на психологию, в частности, стремление стать лучшим среди одноклассников, подтвердить свой статус среди сверстников, т.к. именно в молодом возрасте характерно, что каждый «притягивает на профессиональный успех, результативность деятельности» [10, с. 78].

Результаты нашего исследования подтверждают приведённые выше данные. В ходе изучения дисциплины «Основы проектной деятельности» в КНИТУ-КАИ в весеннем семестре 2023/2024 учебного года на завершающем итоговом занятии студентам было предложено выполнить задания, размещённые на порталах joyteka.com и learningapps.org. Преподаватель разработал задания на первой из озвученных платформ в формате веб-квестов по темам «Инициация проекта», «Планирование проектной деятельности» и другие, на второй платформе был представлен квиз «Основные понятия и принципы проектной деятельности». Веб-квесты предполагали поиск ответов на тестовые вопросы, но усложнялись форматом поиска самих заданий и подсказок к их прочтению, т.е. в цифровой среде был воспроизведен традиционный формат «квест комнаты». Квиз был ориентирован на поиск англоязычных терминов и аббревиатур среди других символов, хаотично размещённых в игровом поле, – составление слов из букв.



Так как согласно учебным планам данная дисциплина читается как среди студентов первого (на одних направлениях подготовки), так и студентов второго курса (на других направлениях бакалавриата), нам представилась возможность не только сравнить результаты освоения дисциплины, зафиксированные с помощью цифровых методов (скорость происхождения заданий, количество правильных ответов), но и оценить, насколько эти задания были востребованы в той или иной исследуемой группе. В ходе наблюдения были зафиксированы большой интерес и увеличенная мотивация к успешному прохождению заданий среди первокурсников. В этой контрольной группе нередко были устные высказывания, демонстрирующие интерес, удивление нестандартной формой задания, желание быть первым, было задано больше уточняющих вопросов по процедуре прохождения.

Экспериментальная составляющая предполагала внесение элемента внешнего стимулирования в виде педагогического вознаграждения. Согласимся, что современная педагогическая практика «предполагает построение системы применения баллов, наград, поощрений для этапа контроля [11, с. 62]. Соревновательный принцип основывается на принципах бихевиоризма и включает взаимосвязь слагаемых «стимул – реакция – обратная связь (подкрепление)», в геймификации в образовании в качестве подкрепления «можно рассматривать баллы, уровни, бейджи, рейтинги и др.» [12, с. 14]. Соответствующие исследования показали, что уровень дофамина повышался, когда игрок выигрывал или был близок к поражению при определенных системах вознаграждения в играх. Понимая нейробиологические механизмы, лежащие в основе системы вознаграждения в играх, геймифицированная система может использовать хорошо продуманные игровые элементы для повышения мотивации и эффективного вовлечения пользователей. Так как в нашем эксперименте преимущественно участвовали мужчины,

следует учитывать фактор, что существует связь между мотивацией игроков и демографическими переменными: мужчины-геймеры, как правило, более склонны к достижениям и соревнованию [13, с. 17].

После прохождения заданий студентам было предложено ответить на вопросы короткой анкеты, чтобы авторы могли оценить потенциал привлечения цифровых викторин и интерактивных заданий для дальнейшего использования в образовательном процессе высшей школы. Выборку исследования составили 48 обучающихся первого курса и 52 студента обучающихся второго курса. Все студенты отвечали на одинаковые вопросы анкеты, размещенной в Интернете. Вопросы были заданы непосредственно после выполнения интерактивных заданий.

Гипотеза исследования состояла в том, что возраст обучающихся влияет на степень их заинтересованности и вовлеченности в процесс использования интерактивных цифровых методов оценки сформированности компетенций. Как мы можем судить по результатам опроса, гипотеза подтвердилась. Несмотря на то, что различие в возрасте обучающихся первого и второго курса не столь велико и составляет 1-2 года, было зафиксировано, что наибольший интерес был проявлен первокурсниками. Так, 81,25% респондентов в данной группе оценили такой метод проверки знаний на максимальные пять баллов, в то время как среди обучающихся второго курса такую оценку поставили 71,15%, более того, среди отвечавших на вопросы анкеты старшей группы больше оказалось и тех, кто оценил его на три балла: 13,46% и 4,16% соответственно. В вопросе эффективности и увлекательности применения цифровых квизов по сравнению с традиционными методами оценок знаний (тесты в офлайн формате, устный опрос и т.д. – как было пояснено респондентами) мнения также несколько отличаются. Результаты распределения ответов по параметру «Интересность» представлены на рис. 1.



*Рис. 1. Распределение оценок студентами интересности цифровых инструментов оценки знаний обучающихся*

На рис. 2 представлены результаты анкетирования по вопросу эффективности применения подобного инструментария.



*Рис. 2. Распределение оценок студентами эффективности цифровых инструментов оценки знаний обучающихся*

*Выводы*

Современные темпы развития образовательной сферы, которые сопряжены с процессами технологической революции, ориентацией на демократизацию образования, приводят к необходимости все более широкого привлечения цифровых методологических инструментов.

В то же время необходимо концентрировать локус внимания на повышение качества образования, мотивацию обучающихся, интенсификацию взаимодействия между педагогом и учеником, учет психологического базиса процесса освоения компетенций. Иными словами, нельзя просто механически осуществить перенос из офлайн в онлайн или комбинированный формат обучения, следует адаптировать принципы педагогики к новой среде.

Все перечисленное подтверждает акту-

альность исследования потенциала, возможностей, рисков и ограничений внедрения игровых педагогических инструментов в Интернет-пространство как новое измерение современного образования. Геймификация как педагогическая технология в цифровой образовательной среде обладает чертами инновационности, что приводит к достаточно высокому параметру неопределенности, и только совместный педагогический поиск, апробация новых методических инструментов, учет психолого-педагогических характеристик обучающихся, совместная работа студента и преподавателя, обмен знаниями и опытом в научно-педагогическом сообществе позволят повысить эффективность использования цифровых инструментов, основанных на принципах геймификации.

**Список литературы**

1. Dancsa, D. Digital tools in education / D. Dancsa, I. Štempel'ová, O. Takáč, N. Annuš // International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches. – 2023. – №7. – P. 289-294.
2. Шайхутдинова, Л. М. Обзор цифровых инструментов педагога для организации дистанционного обучения / Л. М. Шайхутдинова // Вопросы студенческой науки. – №4 (56). – С. 155-160.
3. Temel, T. The Effect of Gamification with Web 2.0 Tools on EFL Learners' Motivation and Academic Achievement in Online Learning Environments / T. Temel, K. Cesur. – DOI 10.1177/21582440241247928. – Текст: электронный // Sage Open. – 2024. – Vol. 14(2). – URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/21582440241247928> (дата обращения: 25.06.2024).
4. Rafiq. Sh., The Impact of Digital Tools and Online Learning Platforms on Higher Education Learning Outcomes / Sh. Rafiq., S. Iqbal, A. Afzal // Al-Mahdi Research Journal (MRJ). – 2024. – Vol 5. – Issue 4. – P. 359-369.
5. Soares, E. Integrating leisure and learning: a systematic review of the role of digital games in the educational process / E. Soares, D. Santos, R. Oliveira, N. Nunes et al. // 2023. – Vol. 25. – P.12-18.
6. Bajúzová, M. Digital Tools in Education: The Impact of Digital Tools in Education on Students' Creativity / M. Bajúzová, R. Hrmo // R&E-SOURCE. – 2024. – Vol.11. – P. 4-18.
7. Галимуллина, Н. М. Внедрение дисциплины «Основы российской государственности» в образовательный процесс высшей школы: восприятие обучающимися и методика преподавания / Н. М. Галимуллина, О. А. Вагаева. – DOI: 10.24412/2304-120X-2024-11054. – Текст: электронный // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2024. – № 04. – С. 235-250. – URL: <https://e-koncept.ru/2024/241054.htm>. (дата обращения: 29.06.2024).

8. Шабалина, Д. А. Особенности веб-квеста как игровой технологии обучения в условиях цифровой школы / Д. А. Шабалина, Гуйюнь Ян, А. В. Лубнина. – DOI 10.24411/2304-120X-2020-11074. – Текст: электронный // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2020. – № 10. – С. 72–88. – URL: <http://e-koncept.ru/2020/201074.htm> (дата обращения: 27.06.2024).

9. Евдокимова, В. Е. Образовательная платформа Joyteka как инструмент создания цифровых образовательных ресурсов / В. Е. Евдокимова, Е. Е. Горева. – Текст: электронный // Учёные записки Шадринского государственного педагогического университета: сетевой науч. журн. – 2024. – № 2 (4). – URL: <https://uzshspu.ru/journal/article/view/196> (дата обращения: 30.06.2024).

10. Баксанский, О. Е. Психологические особенности развития личности в период молодости / О. Е. Баксанский, А. В. Скоробогатова // Образовательные технологии (г. Москва). – 2020. – №2. – С. 77-86.

11. Караваев, Н. Л. Совершенствование методологии геймификации учебного процесса в цифровой образовательной среде: [монография] / Н. Л. Караваев, Е. В. Соболева. – Киров: Вятский государственный университет, 2019 – 105 с.

12. Попова, Т. В. Перспективы и риски внедрения геймификации в современном образовании / Т. В. Попова, О. Е. Ермакова, А. А. Долгова, Н. А. Черных // Вестник Костромского государственного университета. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. – 2022. – Т. 28. – № 2. – С. 12-17.

13. Taş, N. Digital Games and Gamification in Education / N. Taş, Y Bolat. – ISTES Organization. – 2023. – 163 p. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/378708224\\_Digital\\_Games\\_and\\_Gamification\\_in\\_Education](https://www.researchgate.net/publication/378708224_Digital_Games_and_Gamification_in_Education) (дата обращения 29.06.2024).

УДК 37.013.75, 004.8

**ПРЕИМУЩЕСТВА И  
РИСКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В  
ОБРАЗОВАНИИ: ВЗГЛЯД УЧИТЕЛЕЙ И  
СТУДЕНТОВ – БУДУЩИХ ПЕДАГОГОВ**

**BENEFITS AND RISKS OF USING  
ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN  
EDUCATION: THE VIEW OF TEACHERS  
AND STUDENTS – FUTURE  
EDUCATORS**

*Дроздикова-Зарипова А.Р., к.пед.н., доцент  
кафедры педагогики Института психологии  
и образования ФГАОУ ВО «Казанский  
(Приволжский) федеральный университет»;  
ORCID: 0000-0003-0354-8090;*

*Гуторова Г.Д., к.пед.н., научный сотрудник  
отдела электронно-цифровых ресурсов,  
Институт Татарской энциклопедии  
и регионоведения Академии наук РТ,  
преподаватель кафедры педагогики  
Института психологии и образования ФГАОУ  
ВО «Казанский (Приволжский) федеральный  
университет», г. Казань, Россия;  
ORCID: 0000-0002-2633-8515*

*Drozdikova-Zaripova A.R., candidate of  
pedagogical sciences, associate professor in  
the Pedagogy Department at the Institute of  
Psychology and Education of Kazan (Volga  
Region) Federal University;*

*Gutorova G.D., candidate of pedagogical  
sciences, research officer at the Department of  
Electronic and Digital Resource, Institute of Tatar  
Encyclopedia and Regional Studies, Academy  
of Sciences of the Republic of Tatarstan, lecturer  
in the Pedagogy Department at the Institute  
of Psychology and Education of Kazan (Volga  
Region) Federal University, Kazan, Russia;  
ORCID: 0000-0002-2633-8515*

**Аннотация**

В последние годы происходят существенные трансформации в сферах, связанных с интеллектуальной деятельностью, к числу которых относится образование. Ключевой задачей цифровизации образования с использованием различных технологий искус-

ственного интеллекта является повышение его качества и обеспечение обучающихся возможностями для раскрытия и реализации собственного потенциала. В работе проведен теоретический анализ отечественных и зарубежных исследований по выявлению преимуществ внедрения искусственного интеллекта в систему образования, обеспечивающих эффективность управления образованием и реализации образовательного процесса (оптимизация и адаптация учебных программ, создание дополнительных инструментов для работы, персонализация учебного процесса, автоматизация рутинных задач, экономия человеческих и временных ресурсов, анализ и управление данными и др.). Определены потенциальные проблемы и риски, связанные с внедрением искусственного интеллекта в образование, требующие осмысления и разработки стратегии их разрешения (проблемы конфиденциальности персональных данных, академической добросовестности, достоверности информации, квалификации педагогов для работы с технологиями искусственного интеллекта, взаимодействия педагога и обучающихся).

В результате проведенного опроса практикующих учителей Республики Татарстан (121 человек) и студентов Казанского (Приволжского) федерального университета – будущих педагогов (152 человека) обнаружены как сходства, так и различия в отношении студентов и учителей к различным аспектам использования искусственного интеллекта в образовании и проведен критический анализ по данному вопросу.

В работе предлагаются конкретные меры по разрешению выявленных проблем и рисков, связанных с внедрением искусственного интеллекта в образование.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект (ИИ), нейросети, ChatGPT, технологии, образование, преимущества, риски, учителя, студенты – будущие педагоги

#### **Abstract**

In recent years, significant transformations have been taking place in spheres related to intellectual activities, including education. The key task of digitalization of education using various artificial intelligence (AI) technologies is to improve its quality and provide students with opportunities to discover and realize their own potential. This paper provides a theoretical analysis of domestic and foreign studies on identifying the benefits of AI implementation in the education system, ensuring the efficiency of education management and implementation of the educational process (optimization and adaptation of curricula, creation of additional tools for work, personalization of the educational process, automation of routine tasks, saving human and time resources, data analysis and management, etc.). Potential problems and risks associated with the introduction of AI in education that require reflection and development of a strategy for their resolution are identified (problems of confidentiality of personal data, academic integrity, reliability of information, qualification of teachers for working with AI technologies, interaction between teachers and students).

As a result of a survey of practicing teachers of the Republic of Tatarstan (121 people) and students of Kazan (Volga Region) Federal University – future teachers (152 people), both similarities and differences in the attitude of students and teachers to various aspects of the use of AI in education were found and a critical analysis on this issue was carried out.

This paper also proposes specific measures to resolve the identified problems and risks associated with the introduction of AI in education.

**Keywords:** artificial intelligence (AI), neural networks, ChatGPT, technology, education, benefits, risks, teachers, students – future educators

#### *Введение*

Искусственный интеллект (далее – ИИ) является одним из самых актуальных и

востребованных технологических достижений в современном мире и проникает во все сферы человеческой деятельности,

включая образование. Сегодня в образовательной среде используются различные технологии ИИ. Естественно, что основной целью внедрения ИИ в сферу образования является повышение его качества.

Согласно Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 г., «технологии ИИ включают в себя компьютерное зрение, обработку естественного языка, распознавание и синтез речи, интеллектуальную поддержку принятия решений. К смежным областям относятся робототехника и управление беспилотным транспортом» [1]. основополагающие принципы, заложенные в каждую технологию, позволяют применять ее для решения различных задач, связанных с управлением образованием, а также проектированием и реализацией образовательных программ.

Анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что исследователи изучают не только теоретические аспекты, но и результаты практического применения различных технологий ИИ в образовательных организациях. Ученые выделяют различные уровни фактического и потенциального применения ИИ в сфере образования. Например, О.Р. Попов [2] описал несколько потенциальных уровней интеграции ИИ, включающих виртуальных помощников и чат-ботов, сбор и интерпретацию данных, индивидуальное обучение и оценку уровня знаний. По мнению S. Sharma и D. Sharma D. [3], использование ИИ в образовании подразумевает внедрение интеллектуальных систем и алгоритмов, способных анализировать огромные объемы данных, распознавать закономерности и делать обоснованные прогнозы.

В работе И.О. Котляровой [4] фактическое применение ИИ подразделяется на такие области, как использование ИИ в качестве технологии образовательного менеджмента; для моделирования образовательного процесса с помощью ИИ; для создания дидактических средств образова-

ния; как средства обеспечения безопасности образования.

Однако, несмотря на весь имеющийся потенциал, внедрение ИИ в образование также несет определенные риски и проблемы, которые необходимо учитывать и решать для обеспечения эффективного и безопасного обучения. Поэтому многие ученые подчеркивают важность исследования вопросов, не только связанных с преимуществами внедрения технологий ИИ в образование, но и с возможными рисками использования ИИ и чат-ботов в обучении и преподавании, этическими проблемами, отсутствием взаимодействия между людьми и необходимостью эффективной интеграции ИИ в существующие образовательные системы [5, 6].

Целью данного исследования является краткий обзор основных преимуществ использования технологий ИИ в сфере образования, выявление возможных рисков, связанных с данным процессом, и разработка возможных путей их предотвращения на основе теоретического анализа и практического опыта.

#### *Методика*

В исследовании применялся комплекс взаимодополняющих методов: анализ психолого-педагогической литературы, сравнение и обобщение; опросный метод и методы статистической обработки данных.

В опросе приняли участие 152 студента-бакалавра 2-4 курсов обучения – будущих учителей начальных классов и английского языка Института психологии и образования Казанского (Приволжского) федерального университета и 121 учитель средних общеобразовательных школ г. Казани (учителя начальной школы, учителя английского языка, математики, физики и физической культуры). Педагогический стаж учителей –  $21,73 \pm 12,95$  лет.

#### *Основная часть*

Теоретический обзор: степень разработанности проблемы Интеграция технологий ИИ значительно повлияла на систему

образования в последние годы. Приложения на базе ИИ, такие как ChatGPT и различные обучающие интеллектуальные системы, произвели революцию в процессах преподавания и обучения. Эти технологии обеспечивают персонализацию учебного процесса, возможности адаптивного тестирования и повышение вовлеченности учащихся [7]. Кроме того, технологии ИИ могут помочь повысить управляемость образовательными процессами и уменьшить нагрузку на преподавателей за счет сокращения рутинных задач [8]. ИИ может применяться педагогами в качестве помощника для разработки учебных материалов и обучающих тренажеров, позволяющих обучающимся лучше понять и запомнить новый материал; в качестве виртуальных ассистентов-консультантов, дающих ответы на типовые вопросы обучающихся [9].

Особую популярность у пользователей приобрел генеративный ИИ, который несколько отличается от традиционных моделей ИИ. Генеративный ИИ направлен не на распознавание закономерностей и составление прогнозов, а на создание совершенно новых результатов. С помощью таких нейросетей, как ChatGPT, GigaChat, DeepL, Kandinsky, Midjourney, Gamma, Runway, HeyGen и других можно генерировать тексты, изображения, создавать презентации, аудио или видео, переводить или извлекать информацию из текстовых файлов или видеозаписей и многое другое.

Большие языковые модели (LLM), такие как ChatGPT или LLaMA, использующие миллиарды различных параметров, помогают в решении различных задач, касающихся обработки естественного языка. Преподаватели используют возможности больших языковых моделей для различных целей – от расширения опыта обучения с помощью динамической обратной связи до облегчения усвоения языка [10].

Использование ИИ в преподавании представляет огромные возможности, обеспечивая ряд преимуществ, которые труд-

но получить иным способом. Некоторые из них включают адаптивные/персонализированные системы обучения, которые настраивают процесс обучения, анализируя интересы и потребности учащихся, автоматические системы оценивания, которые помогают преподавателям анализировать уровень знаний учащихся в определенной предметной области, и системы самооценки с поддержкой ИИ, которые предоставляют результаты и обратную связь учащимся в любое время и в любом месте [11].

Тем не менее, несмотря на широкие возможности, предоставляемые ИИ, его внедрение в сферу образования сопряжено с рядом потенциальных рисков, которые требуют тщательной проработки. Эти риски включают в себя этические проблемы, такие как вопросы конфиденциальности, безопасности и утечки персональной информации, возникающие при использовании больших данных [12], возможное эмоциональное дистанцирование, влияющее на развитие личности учащихся [13], и усугубление существующего неравенства в образовании за счет «цифрового разрыва», создаваемого внедрением ИИ [14], а также проблемы, связанные с академической недобросовестностью, несправедливой оценкой успеваемости, недостоверной информацией и излишним доверием к ИИ [15]. Кроме того, существуют риски, связанные с недостаточной квалификацией педагогов для работы с новыми технологиями, нехваткой педагогического мастерства преподавателей и отсутствием определенных стратегий обучения при использовании ИИ в образовании.

#### *Результаты*

В результате проведенного опроса выявлено, что 40,5% учителей и 56,9% студентов – будущих педагогов видят смысл в использовании ИИ в преподавании. В числе основных преимуществ использования технологий ИИ студенты выделили: повышение скорости работы, удобство в использовании. Учителя, в свою очередь,

подчеркнули следующие преимущества: высокая скорость работы и экономия времени, мобильность, упрощение работы, удобство использования, новые возможности в решении сложных задач и автоматизация рутинных задач.

В педагогической практике порядка 40% студентов и учителей имеют пробный опыт использования ИИ на этапе планирования и непосредственной разработки содержания уроков, при этом 36,7% учителей и лишь 21,7% студентов применяют ИИ на этапе оценивания.

46,3% опрошенных учителей и 81,5% студентов выражают интерес и желание углубить свои знания в данной области, для этого учителя посещают курсы по ИИ в рамках повышения квалификации (12,4%), а студенты как проходят учебные курсы (4,2%), так и самостоятельно обучаются технологиям ИИ (17,05%).

По мнению студентов, инструменты на базе ИИ более полезны при преподавании гуманитарных дисциплин. Учителя предполагают, что потенциал применения ИИ в большей степени раскрывается при изучении естественнонаучных дисциплин.

На вопрос «Какая еще область образования и в какой степени могла бы получить преимущества от ИИ?» обнаружено, что студенты и педагоги определяют преимущества использования ИИ в различных областях образования ( $\chi^2$ :  $p \leq 0,01$ ). Так, 44,1% студентов считают, что ИИ возможно лучше обеспечит выполнение вспомогательных административно-хозяйственных задач, а 58,7% и 57,9% учителей предполагают возможное повышение качество управления учебным процессом (включая контроль посещаемости) и администрирования соответственно.

Вместе с тем, студенты и учителя критически оценивают возможности ИИ и порядка 80% отмечают возможные риски в использовании ИИ в образовании. В числе таких рисков выделены следующие: недостоверность информации, плагиат, доступ к личным данным, недостаток

человеческого взаимодействия, снижение интеллектуальных способностей и критичности мышления обучающихся, деградация человеческого общества и ощущение небезопасности и страха, что все может выйти из-под контроля человека. Тем не менее, порядка 70% респондентов согласны с необходимостью приспособливаться к ИИ в связи с цифровизацией общества и современными требованиями к образованию.

#### *Выводы*

Таким образом, сегодня технологии ИИ активно используются как в управлении образованием, так и в реальной педагогической практике. Внедрение ИИ в систему образования имеет целый ряд преимуществ и может значительно помочь в улучшении образовательного процесса. ИИ помогает оптимизировать учебные программы, анализировать данные и результаты обучения, создавать дополнительные инструменты для более эффективной работы и повышать качество образования в целом. Технологии ИИ могут помочь в реализации индивидуального подхода, учитывая потребности каждого ученика, предлагая персонализированные задания и мгновенную обратную связь, что может повысить эффективность образовательного процесса и улучшить тем самым образовательные результаты. Технологии ИИ также предоставляют учащимся доступ к образовательным онлайн-ресурсам, адаптивным программам и технологиям дистанционного обучения. Это значительно расширяет доступность обучения, особенно для обучающихся с ограниченными физическими или территориальными возможностями.

Кроме того, использование ИИ в образовании помогает экономить временные и человеческие ресурсы, автоматизируя рутинные и повторяющиеся задачи, такие как проверка тестов, анализ учебных достижений и управление учебным процессом. Это может помочь учителям сконцентрироваться на более важных аспектах образования,



таких как мотивация учащихся, развитие критического мышления, творческого подхода к решению задач и коммуникативных навыков.

Однако внедрение ИИ в сферу образования имеет ряд проблем и рисков. Одной из основных проблем является потенциальная угроза конфиденциальности и безопасности персональных данных. Так, сбор и анализ больших объемов информации об обучающихся с целью оптимизации процесса обучения может привести к нарушению конфиденциальности личной информации.

Еще одной проблемой является недостаточная квалифицированность педагогических кадров для грамотного внедрения и использования технологий ИИ в своей работе. Только правильное и разумное применение инструментов на основе ИИ будет давать положительный эффект.

Другой проблемой, связанной с внедрением ИИ в образование, является потенциальная угроза нехватки человеческого взаимодействия и личного участия преподавателей. Автоматизация процесса обучения с помощью ИИ может привести к уменьшению роли педагогов, что может негативно сказаться на качестве образования и воспитания. Также возникает опасность потери личного контакта и человеческого фактора в процессе обучения. Практикующие и будущие учителя опасаются также негативного влияния ИИ на развитие подрастающего поколения.

Кроме того, алгоритмы машинного обучения могут быть предвзяты и дискриминировать определенные группы обучающихся по половому, расовому или другому признаку, что может привести к усилению неравенства в доступе к образованию и возможностям для обучения.

Для решения выявленных проблем и рисков применения технологий ИИ следует принять ряд мер:

1. Необходимо обеспечить конфиденциальность и безопасность личной информации, предотвратить возможные случаи

злоупотребления персональными данными посредством разработки специальных правил и стандартов.

2. Важно обучать учителей и преподавателей работе с новыми технологиями и вовлекать их в процесс разработки и внедрения ИИ в образование, развивать их профессиональные навыки и цифровую компетентность для использования возможностей ИИ для проведения качественной оценки и подготовки учебных материалов.

3. Требуется создать механизмы контроля и регулирования используемых алгоритмов машинного обучения, чтобы исключить предвзятость и предотвратить негативные последствия для обучающихся.

4. Важно освещать вопросы, связанные с внедрением ИИ в образование и проводить образовательные мероприятия, чтобы общественность понимала потенциальные угрозы и проблемы для последующего принятия обоснованных решений по использованию ИИ в образовательном процессе.

5. Необходимо разработать законы и нормативные акты, которые бы регулировали применение ИИ в учебных заведениях и защищали права всех участников образовательных отношений.

Только при соблюдении всех указанных мер можно обеспечить безопасное и эффективное использование ИИ в образовании и создать условия для прогресса и улучшения качества обучения.

Таким образом, внедрение ИИ в образовательный сектор имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Правильное использование технологий ИИ может привести к значительному улучшению качества обучения, доступности образовательных ресурсов и развитию инноваций в образовании. Важно проводить обсуждения и разрабатывать эффективные стратегии для использования ИИ в образовании, учитывая все потенциальные проблемы и риски, чтобы обеспечить максимальную пользу и безопасность для обучающихся и педагогов.

**Список литературы**

1. Указ Президента РФ от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (вместе с «Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года»). – URL: [http://www.consultant.ru/law/podborki/iskusstvennyj\\_intellekt/](http://www.consultant.ru/law/podborki/iskusstvennyj_intellekt/) (дата обращения: 16.06.2024). – Текст: электронный.
2. Попов, О. Р. Проблемы вузовского образования в эпоху цифровизации: человек и искусственный интеллект / О. Р. Попов, А. А. Горбачева // Интеллектуал. ресурсы – региональному развитию. – 2019. – Т. 5. – № 2. – С. 98-109.
3. Sharma, S., Sharma D. Integrating artificial intelligence into education / S. Sharma, D. Sharma // International Journal of Advanced Academic Studies. – 2023. – №5 (6). – Pp. 35-39.
4. Котлярова, И. О. Технологии искусственного интеллекта в образовании / И. О. Котлярова // Вестник ЮУрГУ. Серия: Образование. Педагогические науки. – 2022. – Т. 14. – № 3. – С. 69-82.
5. Alexeeva, D. A., Pronichkina, I. S. Artificial intelligence in foreign language teaching: post-editing as an indicator of language proficiency level / D.A. Alexeeva, I.S. Pronichkina // Language and Cultural Contacts. – 2023. – № 12. – Pp. 137-141.
6. Rizvi, M. Exploring the landscape of artificial intelligence in education: Challenges and opportunities // 5th International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA). – 2023.
7. Kumar, P., Nithiya, S., Suguna, A., Kavitha, K. B. Implementation of Artificial Intelligence in Education / P. Kumar, S. Nithiya, A. Suguna, K.B. Kavitha // International research journal of computer science. – 2023. – №10 (05). – Pp. 104-108.
8. Karan, B., Angadi, G. R. Artificial Intelligence Integration into School Education: A Review of Indian and Foreign Perspectives / B. Karan, G.R. Angadi // Millennial Asia. – 2023.
9. Широколобова, А. Г. Искусственный интеллект как инструмент оптимизации работы преподавателя высшей школы / А. Г. Широколобова // Педагогика. Вопросы теории и практики. – 2024. –Т. 9. – №2. – С. 138-145.
10. Cukurova, M., Miao, X., & Brooker, R. Adoption of artificial intelligence in schools: unveiling factors influencing teachers' engagement / In N. Wang, G. Rebolledo-Mendez, N. Matsuda, O. C. Santos, & V. Dimitrova (Eds.) // 24th International Conference on Artificial Intelligence in Education. – 2023. – Pp. 151-163.
11. Yetişensoy, O., Karaduman, H. The effect of AI-powered chatbots in social studies education / O. Yetişensoy, H. Karaduman // Education and Information Technologies. – 2024.
12. Mhlanga, D. Generative AI for Emerging Researchers: The Promises, Ethics, and Risks/ D. Mhlanga // SSRN Electronic Journal. – 2024. – URL: <https://ssrn.com/abstract=4737492>.
13. Baidoo-Anu, D., Owusu Ansah L. Education in the Era of Generative Artificial Intelligence (AI): Understanding the Potential Benefits of ChatGPT in Promoting Teaching and Learning / D. Baidoo-Anu, L. Owusu Ansah // Journal of AI. – 2023. – № 7 (1). – Pp. 52-62.
14. Ma, X., & Jiang, C. On the Ethical Risks of Artificial Intelligence Applications in Education and Its Avoidance Strategies / X. Ma, C. Jiang // Journal of Education, Humanities and Social Sciences. –2023. – № 14. – Pp. 354-359.
15. Sok, S., Heng, K. ChatGPT for Education and Research: A Review of Benefits and Risks / S. Sok, K. Heng // Cambodian Journal of Educational Research. – 2023. –Vol. 3. – № 1. – Pp. 110-121.

УДК 004.9:378.14  
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И  
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ  
В ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА  
ВУЗА

DIGITAL TECHNOLOGIES AND  
ARTIFICIAL INTELLIGENCE  
IN IMPROVING THE QUALITY OF THE  
EDUCATIONAL PROCESS  
OF A UNIVERSITY

*Стрекалова Г.Р., доцент кафедры менеджмента и предпринимательской деятельности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»;  
E-mail: strekalova-9@mail.ru;  
Мочалова Н.В., доцент кафедры хореографического искусства ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия;  
E-mail: ninel.mochalova@mail.ru*

*Strekalova G.R., Associate Professor of the Department of Management and Entrepreneurship, Kazan National Research Technological University;  
E-mail: strekalova-9@mail.ru;  
Mochalova N.V., Associate Professor of the Department of Choreographic Art of the Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia;  
E-mail: ninel.mochalova@mail.ru*

### Аннотация

В статье представлены результаты исследования в области повышения качества вузовского образования посредством широкого внедрения IT-технологий и искусственного интеллекта. Российский рынок демонстрирует дефицит в 700 000 IT-специалистов, по данным 2024 г. 35% российских компаний нуждаются в «айтишниках» по информационной безопасности, 33% – в сетевых инженерах, у каждой пятой компании имеется потребность в мобильных разработчиках, 48% компаний готовы принять стажеров без опыта работы. Отказ бизнес-сегмента от зарубежного программного обеспечения отразился на потребности в IT-специалистах, владеющих программой «1С». Анализ восприятия образа вузов Татарстана абитуриентами и их родителями показал, что, несмотря на ряд разногласий, в ТОП-10 лучших вузов входят, занимая первые два места, КФУ и Университет «Иннополис», последний является образцом качества подготовки IT-специалистов. В ходе исследования выявлены проблемы, определены причины возникновения, предложены варианты решения и планируемые результаты. Показано, что выявленные проблемы могут быть решены путем долгосрочного взаимодействия триумvirата «образование – государство – бизнес» как модели «предпринимательского университета инновационного типа». Показано, что активное использование IT-технологий не только способствует окультуриванию образовательной деятельности, но и повышает ее уровень, ускоряя процессы приобретения знаний, их закрепления и использования в практике. Для IT-сферы это закономерная перспектива.

**Ключевые слова:** информатизация, цифровизация, технологии, искусственный интеллект, образование, деятельность, возможности, развитие, перспективы

### Abstract

The article presents the results of a study in the field of improving the quality of university education through the widespread introduction of IT technologies and artificial intelligence. The Russian market shows a shortage of 700,000 IT specialists, according to 2024 data, 35% of Russian companies need IT specialists in information security, 33% need network engineers, every fifth company has a need for mobile developers, 48% of companies are ready to accept interns no work experience. The business segment's refusal to use foreign software affected the need for IT specialists proficient in the 1C program. An analysis of the perception of the image of Tatarstan universities by applicants and their parents showed that,

despite a number of disagreements, the TOP 10 best universities include, occupying the first two places, KFU and Innopolis University, the latter is an example of the quality of training of IT specialists. During the study, problems were identified, the causes of their occurrence were determined, solutions and planned results were proposed. It is shown that the identified problems can be solved through long-term interaction of the triumvirate «education – state – business», as a model of an «innovative entrepreneurial university». It is shown that the active use of IT technologies not only contributes to the culturalization of educational activities, but also increases its level, accelerating processes of acquiring knowledge, consolidating it and using it in practice. For the IT sector, this is a natural prospect.

**Keywords:** informatization, digitalization, technology, artificial intelligence, education, activities, opportunities, development, prospects

Динамика информатизации жизнеобеспечения современного общества, широкие шаги IT-технологий в любые сферы деятельности человека диктуют новые правила организации учебного процесса во всех уровнях образования. Требование времени сегодня в первую очередь обращено к образовательной деятельности, поскольку именно в сфере образования формируются профессиональные навыки и возможности освоения информационных технологий, сегодня уже освоения более высокого уровня их развития – искусственного интеллекта, уровня наполнения машины интеллектом (так называемого машинного обучения), что впоследствии должно заменить человека на стандартных, монотонно повторяющихся операциях, повышая эффективность труда, в том числе и управленческого. И эти требования вполне обоснованы динамичностью происходящих процессов развития экономики, общества и обусловлены насущной потребностью времени [1].

Широкое внедрение информационных технологий в образовательную среду вуза обусловлено еще и тем, что сегодня только ленивый не спорит о качестве образовательной деятельности с той позиции, что вузы консервативны в организации образовательной деятельности и слабо (не успевают) перестраиваются на запросы рынка. Вузовский консерватизм базируется еще на той доктрине, что общество уже достигло образовательного максимума, потому как в последние годы на каждого

выпускника школы имеются места в высших учебных заведениях, и не одно, хотя соревновательный момент имеет место быть по отдельным специальностям. Но, к сожалению, многие госбюджетные места остаются незаполненными, и возникает вопрос – почему? Возможно, с одной стороны, государство испытывает нехватку в таких специалистах, если заказывает их подготовку, а желающих к обучению нет, потому что отсутствуют грамотная профориентация, маркетинговый подход к развитию интереса к данной профессии и к ожидаемо-достигаемым перспективам развития в будущем, в случае обучения и получения профессиональной квалификации. С другой стороны, отсутствует потребность в специалистах данного направления в реальной действительности, а заказы на обучение присутствуют, возможно, из-за неверно проведенного расчета потребности в специалистах без учета рыночной конъюнктуры и ее динамики, а контрольные цифры приема остались от предыдущего года. Как следствие, госбюджетные места заполняются теми, кто не по своим интересам выбирает себе профессию, а обучается ради обучения с единственной целью – получить диплом государственного образца за счет государственного финансирования. Таким образом, вузовский консерватизм ярко проявляется в настоящем – запрос, например, на специалистов «айтишников» сегодня растет в геометрической прогрессии, а выпуск подготовленных специалистов на рынок труда явно от-

стает в той же прогрессии, но с обратным эффектом [2].

Как бы то ни было, вопрос о качестве образования остается открытым и всегда актуальным, потому что именно от качественного ведения образовательного процесса зависят подача и освоение материала во всех случаях из рассмотренных выше, желает ли студент приобрести знания или просто отработывает время до получения диплома. Следовательно, несмотря на запросы со стороны потребителей образовательной деятельности государства, общества, бизнеса и человека в плане получения знаний, умений и навыков определенной профессии, организация образовательного процесса и реализация его с использованием IT-технологий и искусственного интеллекта позволят повысить и качество образования, и знаниевый эквивалент, и достижение запросов общества.

Резюмируя, отметим актуальность исследования, которая заключается в обоснованных предложениях по широкому внедрению IT-технологий в образовательный процесс обучения в вузе, возможностям и результативности искусственного интеллекта в повышении качества образования через качество обучения.

Одним из аспектов развития и выявления потребности во внедрении IT-технологий в образовательную деятельность является восприимчивость образовательной деятельности к широкомасштабному использованию IT-технологий. С учетом консерватизма образовательной сферы к новшествам, внедрение которых требует длительной апробации, а смена поколения обучающихся протекает раз в четыре года – шесть лет, с изменениями не только возрастными, но и квалификационными, поскольку каждый год обучения закрепляет определенные ЗУНы. И если на первом курсе студента только обучили азам, то закрепление должно идти на всех курсах и в рамках всех преподаваемых дисциплин, что вполне реально исполнить,

если вернуться к структурно-логическим связям между предметами, в которых красной нитью прописан весь путь образовательной деятельности. Это, конечно, не ново, но почему не работает? Потому, что отсутствует аудиторский контроль, который должен быть как реперная точка перехода в новый процесс обучения: контроль входа и контроль выхода, а сам хозяин процесса (студент) должен быть включен в него с позиции приобретения навыков владения IT-технологий разного уровня сложности [3].

Если остановиться на основах и времени применения информационных технологий, то факты говорят о том, что начало было положено в 70-х годах прошлого века. Данной проблематикой занимались ученые Ю. Карякин, Б. Овезов, В. Юрасов и др. Однако в те годы информатизация хоть и была передовой по нашим отечественным меркам, но развита была слабо, и после открытия железного занавеса показала свою неконкурентоспособность. Суть отечественных коммуникационных технологий в информационном поле сводилась только к пользованию компьютером со стандартным набором программного обеспечения. В современных условиях суть меняется, сегодня это комплекс инструментальных средств, программ и методов для передачи и получения информации, включая ее обработку и трансляцию. Но не все средства ИКТ можно использовать в системе образования. Так, например, по мнению авторов научных трудов по ИКТ – В.В. Давыдова, Г.А. Красновой, А.Б. Кузнецовой, К.В. Петрова, В.В. Рубцова и других исследователей, можно выделить, что для использования ИКТ в образовательном процессе должны быть выполнены следующие условия:

- достижение цели современного образования;
- обеспечение качественной передачи графической, текстовой, видео- и аудиоинформации;

– обеспечение ведения диалога с обучаемым в интерактивной форме;

– обеспечение оперативного оценивания деятельности обучающего.

Пожалуй, перечисленный набор условий сегодня выполняется, и активное использование ИТ-технологий не только способствует окультуриванию образовательной деятельности, но и повышает ее уровень, ускоряя процессы приобретения знаний, их закрепления и использования в практике.

Остановимся еще раз на востребованности специалистов по ИТ-технологиям. Если опираться на цифры, то сегодня в России не хватает 700 000 специалистов в ИТ-сфере, особенно специалистов по кибербезопасности. Такая ситуация с кадровым голодом сложилась на ИТ-рынке после февраля 2022 г. и за два года до этого. Казалось бы, что сегодня ситуация с подготовкой ИТ-специалистов должна была нормализоваться, но, к сожалению, пока дефицит превалирует над динамикой выпуска специалистов, которые желанию работать в ИТ-сфере и постоянно осваивать язык программирования предпочитают фрезерные работы на станке. На этом фоне данные по российскому бизнесу 2024 г. говорят о том, что сегодня 35% отечественных компаний нуждаются в специалистах по информационной безопасности, 33% компаний нуждаются в сетевых инженерах – сисадминах, у каждой пятой компании в России есть потребность в мобильных разработчиках, 15% ИТ-компаний готовы принять бэкенд-разработчика, 11% открыты для фронтенд-разработчиков, менее востребованы сегодня специалисты по цифровой трансформации, только 7% ИТ-компаний могут предложить им рабочие места. Следует отметить, что российские компании предпочитают принимать на работу стажеров без навыков, умений, опыта работы. Такая тенденция вдохновляет руководство тем, что стажер обучится именно тем требованиям, которые запросит сама компания.

Практически 48% российских компаний сегодня предпочитают брать стажеров в качестве ИТ-кадров. Активный отказ бизнес-сегмента от зарубежного корпоративного программного обеспечения и замены его на отечественный, российские компании все больше нуждаются в ИТ-специалистах, владеющих программой «1С», востребованы также программисты пишущие на C++, JavaScript, и PHP. Внедрение искусственного интеллекта сопряжено с рядом проблем, поскольку для полноценного использования его методов, например нейронных сетей, потребуются мощные компьютеры с программным обеспечением на уровне человеческого мозга. Безусловно, развитие нейросетей решает часть проблем, связанных с нехваткой специалистов, поскольку нейросети заменяют живых программистов, но и для создания нейросетей тоже нужны ИТ-специалисты – для реализации процесса машинного обучения, глубокого обучения робота, используя нейроны, подобные мозгу человека [4].

Наметившаяся некоторая положительная динамика в сфере подготовки специалистов для ИТ-компаний и снижение дефицита кадров заставляют призадуматься относительно взаимодействия вузов, поставляющих на рынок ИТ-специалистов и бизнес-компаний, которые обеспечивают выпускникам рабочие места. Обе стороны должны быть в тесном контакте, иметь обратную связь для оперативного принятия решений. Сотрудничество позволит в короткие сроки решить, например, проблему неудовлетворительной подготовки специалиста, если от бизнес-компаний пришла рекламация, или перестроить учебный процесс по запросу бизнес-компаний.

Рассмотрим рынок образовательных услуг Республики Татарстан на предмет нахождения вуза, в котором ведется лучшая подготовка ИТ-специалистов. Предварительно отметим, что Республика Татарстан лидирует среди субъектов Российской Федерации по использованию информацион-

но-коммуникационных технологий. И интерес к этой сфере деятельности не праздный. Отметим также, что уровень цифровизации экономики и социальной сферы республики составляет уже 92%. Ярким примером высокой цифровизации региона стал молодой город Иннополис и его Университет «Иннополис», который специализируется на подготовке специалистов в области IT-технологий, робототехники и нейросетей. По плану развития Республики Татарстан к 2030 г. намечена цифровая трансформация общества [5].

Отметим также, что приоритеты развития Республики Татарстан в сфере цифровизации нашли отражение в Стратегии цифровой трансформации, реализация которой базируется на разработке цифровых платформ и внедрении технологий искусственного интеллекта. В Стратегии еще на начальном этапе ее реализации учтены проблемы и вызовы цифровой трансформации, а также взаимосвязь задач и проектов. Относительно нашего исследования

и стратегических задач в сфере цифровой трансформации образовательной деятельности в Стратегии прописано, что вызовы развития образования сосредоточены на создании цифрового пространства для реализации многоуровневых программ для участников образовательного процесса [6].

Продолжим по вузам Республики Татарстан, которые накануне очередной кампании приема абитуриентов позиционируют себя с разных ракурсов, проводят дни открытых дверей для абитуриентов, устраивают встречи без галстука, олимпиады, привлекают выпускников вуза к участию в вузовских мероприятиях и все ради того, чтобы вуз набрал свою квоту абитуриентов и приступил к осуществлению своей образовательной деятельности.

Ежегодно агентство «ПромРейтинг» проводит традиционное исследование восприятия образа вузов Республики Татарстан глазами абитуриентов (табл. 1) и их родителей (табл. 2).

Таблица 1

**ТОП-10 вузов Татарстана глазами абитуриентов 2024 г. [7]**

Рейтинг вузов Татарстана по оценке абитуриентов, в % голосов по критериям								
Место вуза в рейтинге ТОП-10	Самый известный вуз Татарстана в России		Вузы, предпочтительные для поступления		Вузы, в которых самое качественное образование		Вузы, в которых самое качественное IT-образование	
	Вуз	Процент	Вуз	Процент	Вуз	Процент	Вуз	Процент
1	КФУ	73,1	КФУ	45,5	КФУ	38,1	Иннополис	38,1
2	КГМУ	34,3	Иннополис	21,2	Иннополис	27,0	КФУ	22,2
3	Иннополис	29,9	КГАСУ	16,7	КГМУ	25,4	КНИТУ-КАИ	15,9
4	КНИТУ-КАИ	23,9	КГМУ	15,2	КГАСУ	12,7	КНИТУ-КАИ	13,7
5	КНИТУ-КХТИ	19,4	КЮИ МВД	13,1	КЮИ МВД	9,5	АГНУ	12,7
6	КВТКУ	17,4	КАЗГИК	12,1	КИУ	8,5	КГЭУ	6,4
7	КГЭУ	16,1	ГАФК-СИФГ	11,1	КНИТУ-КАИ	7,9		
8	КГАСУ	15,4	КГК	10,9	КАЗГИК	6,4		

9	КИУ	12,7	КИИД	10,6	АГНУ	5,4		
10	КГАВМ	11,9	КГАВМ	9,1	КГАВМ	4,8		

Как видим (табл. 1), практически по всем выбранным для исследования критериям лидирует, согласно мнению абитуриентов, Казанский федеральный университет (КФУ), только по качеству IT-образования уступает первое место Университету «Иннополис», что вполне объяснимо специализацией университета на подготовке IT-специалистов. Интересная тенденция, чего не было ранее: абитуриенты не разделяют вузы на коммерческие и некоммерческие, скорее всего потому, что в университетах мало остается профилей, программ, специалитетов с бюджетным финансированием. Из табл. 1 также следует, что абитуриенты выделяют только шесть вузов Татарстана, в которых самое качественное IT-образование: Университет «Иннополис», КФУ, КНИТУ – КАИ, КНИТУ – КХТИ, Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», Казанский государствен-

ный энергетический университет. Стоит добавить, что информатика – второй по популярности экзамен по ЕГЭ после обществознания.

Интерес не праздный, и не только для абитуриентов, выбирающих вуз для поступления, которые до поступления пока еще являются потребителями, а после поступления становятся ресурсом, из которых вуз благодаря образовательной деятельности и преподавателям должен подготовить выпускника с компетенциями, востребованного на рынке труда. Поэтому конкурс абитуриентов важен и вузу тоже, при качественном отборе на входе есть вероятность получить на выходе качественного выпускника.

В продолжение анализа сравним мнение абитуриентов с мнением их родителей, что тоже немаловажно, потому что родители играют не последнюю роль в выборе, который делают их дети.

Таблица 2

**ТОП-10 вузов Татарстана по мнению родителей абитуриентов [7]**

Рейтинг вузов Татарстана по оценке родителей абитуриентов, в % голосов по критериям:								
Место вуза в рейтинге ТОП-10	Самый известный вуз Татарстана в России		Вузы, предпочтительные для поступления		Вузы, в которых самое качественное образование		Вузы, в которых самое качественное IT-образование	
1	КФУ	54,4	КФУ	32,6	КФУ	37,6	Иннополис	31,7
2	КНИТУ-КАИ	32,6	КГАСУ	21,7	КНИТУ-КАИ	19,6	КФУ	20,0
3	КГМУ	30,4	Иннополис	20,0	Иннополис	13,0	КНИТУ-КАИ	15,9
4	КГЭУ	21,7	КГМУ	15,2	КГМУ	11,9	КИУ	11,1
5	КГАСУ	19,6	КГЭУ	19,6	КГАСУ	10,7	КГЭУ	10,5
6	Иннополис	19,0	КНИТУ-КАИ	17,4	КГЭУ	9,9	КИФЭИ	8,9



7	КНИТУ-КХТИ	18,1	КИУ	15,2	АГНУ	8,7	КГАСУ	4,4
8	КВТКУ	17,4	КЮИ МВД	8,7	КНИТУ-КХТИ	6,5	ТИСБИ	3,5
9	КИУ	15,2	КНИТУ-КХТИ	7,6	КЮИ МВД	6,1	АГНУ	3,1
10	КГАВМ	13,9	КГАУ	4,4	КГК	5,9	КВТКУ	3,0

Ничего нет удивительно в том, что родители абитуриентов имеют несколько иное мнение относительно рейтинга вузов Татарстана. У родителей абитуриентов классически сложился интерес к КФУ как к самому престижному образованию с высоким уровнем качества преподавания, и практически во всех опросах родители отдают предпочтение именно этому вузу, который на слуху и в России, в рейтинге вузов России КФУ занимает 20 место, это достаточно престижно. Но так же, как и их дети, по самому высокому уровню качества IT-образования отмечают Университет «Иннополис».

Университету «Иннополис» чуть более 10 лет, программы обучения в сфере информатики, робототехники и программной инженерии с опытом работы в топ-100 вузов мира в партнерстве с компаниями IT-индустрии разработаны мировыми экспертами. В 2020 г. создан новый Институт искусственного интеллекта, предназначение которого – ведение разработок и исследования в области искусственного интеллекта. Соперничать с «Иннополисом» практически невозможно, поскольку это федеральный проект, заточенный на полномасштабные проекты, связанные с цифровой трансформацией общества, и все лучшее там [8].

Обратимся к другим вузам, в которых, по мнению абитуриентов, самое лучшее IT-образование. Как и в любом другом вузе, существует биполярное мнение относительно качества образовательной деятельности. Одна сторона биполярности считает, что уровень подготовки специалистов

растет, приводя аргументы и в отношении роста квалификации преподавательского корпуса. Вторая сторона считает, что качество падает, и тоже приводит аргументированные доводы. Причину видят в разрешении свободного посещения студентами занятий, то есть практическое их отсутствие и незнание предмета, которое выясняется на контрольных точках. Добавим к этому отсутствие притока молодых кадров, уход преподавателей среднего возраста и большой процент старожиллов образования. Материально-техническая база в столетних вузах требует обновления. Низкая заработная плата провоцирует уход технического персонала. Старая модель подготовки специалиста в вузе не соответствует новым условиям и требованиям развития общества. Отсутствие у преподавателей-практиков-специалистов педагогического образования. Все эти проблемы, безусловно, присутствуют и отражаются как раз в консерватизме образования и его отставании от запросов общества и рынка. Другое дело, перечисленные проблемы отсутствуют в Университете «Иннополис» [9].

Государство в свою очередь, понимая и видя происходящие изменения, ощущая разрыв между дефицитом кадров и подготовкой выпускников, которые порой не идут работать по специальности, а находят себе более удобное занятие, получают диплом, не понимая, что занимали чье-то место, что кто-то хотел, но не прошел по конкурсу и т.д., разрабатывает и принимает решение по реализации Программы «Приоритет-2030». Сущность программы – в концентрации ресурсов, их объединении

для достижения национальных целей развития Российской Федерации. Приоритетным станет рост научно-образовательного потенциала вузов и научных организаций. Цель программы – обеспечить развитие образовательного потенциала 100 прогрессивно-современных университетов – центров научно-технологического и социально-экономического развития страны [10].

В задачах, прописанных в Программе «Приоритет-2030» для университетов, указано:

– для создания новых технологий, отраслей и конкурентоспособных продуктов следует на постоянной основе повышать научно-технологический потенциал университетов России;

– расширять на постоянной основе межинституциональное сетевое взаимодействие;

– интегрировать университетскую науку с научными организациями (НИИ, КБ, ПО) и с реальным сектором экономики (бизнес-компаниями, предприятиями);

– организовывать развитие международного сотрудничества.

Комментируя задачи, можно отметить, что цель любого сотрудничества заключается в обмене опытом и совместной реализации взаимовыгодных проектов. Подобное коммуницирование полезно, если найдутся точки соприкосновения, и взаимовыгодно. Есть примеры, когда бизнес-компания проводит обучение вузовских преподавателей с целью последующего обучения студентов обученными преподавателями, что в целом должно сказаться на качестве образовательного процесса. Но так или иначе существуют барьеры семагического восприятия [11].

Итак, выводы по исследованию:

1. Проблема: образование не успевает за темпами развития IT-сферы.

Причина: консерватизм образовательного процесса в вузе, динамизм развития технологий в обществе.

Решение: для выравнивания образова-

вшегося разрыва следует заключать договора между вузом и бизнес-компаниями на предмет отбора студентов на 2-3 курсах в стажеры для стажировки в реальных условиях бизнеса в сочетании с образовательной деятельностью без отрыва от производства (компьютера) – выполнение домашних заданий по текущим предметам, отчетов по практикам, рефератов и курсовых работ.

Результат: практико-ориентированное обучение, сокращение адаптационного периода, связанного с обучением молодого специалиста.

2. Проблема: неразвитая IT-инфраструктура вуза.

Причины: недостаточное финансирование, отсутствие хозяйственных договоров, спонсоров.

Решение: заключение договоров между вузом и бизнес-компаниями на предмет материально-технического оснащения вуза, например, компьютерного класса, предназначенного для проведения групповых и индивидуальных занятий и решения задач по запросам и IT-проектам бизнес-компаний.

Результат: для бизнес-компаний расширяется возможность выбора лучшего выпускника, подготовленного к проектной деятельности; для вуза привлечение студентов к научной деятельности и преподаванию, сохранение и омоложение педагогического состава кафедры и вуза.

3. Проблема: отсутствие коммуникационного взаимодействия вуза и бизнес-компаний в IT-сфере.

Причины: у каждого свои цели: у вуза – образование, у компании – бизнес.

Решение: устраивать специализированные мероприятия: встречи, тестирование, мастер-классы, деловые игры, дни открытых дверей с активным участием сотрудников бизнес-компаний и студентами, возможно, и нетрадиционные, например, совместные игры-соревнования – боулинг, теннис, бильярд или проектные тренинги в

мини-лаборатории.

Результат: рост внутрикорпоративного взаимодействия, привитие коммуникативных навыков и управленческих возможностей.

В качестве заключения: в современных реалиях есть примеры интеграционного взаимодействия вузов и бизнеса. Ряд вузов уже становятся партнерами крупных предприятий и поставщиками кадров в ответ на ноу-хау и продвижение их на образовательном российском рынке коммерческими компаниями. Перспективы рисуются в долгосрочном взаимодействии «образование – государство – бизнес» как модели «предпринимательского университета инновационного типа». Вузы исследовательские,

которые по замыслу объединили науку с образованием, сегодня уже готовы к коммерциализации своих исследований и разработок, и в этом им помогут бизнес-компании при поддержке государства. Предпринимательские университеты, в отличие от малых инновационных предприятий (МИПов) в структуре вуза, ориентированы не только на разработку инновационных высокотехнологичных проектов, но и в большей степени на их коммерциализацию в условиях бизнес-компаний-партнеров и компаний, генерирующих новые наукоемкие продукты и технологии, стыкующиеся, в свою очередь, с бизнесом крупных международных корпораций. Для IT-сферы это вполне закономерная перспектива.

### Список литературы

1. Strekalova G. Vectors of digitalization and IT - technologies in agriculture of the republic of Tatarstan / G. Strekalova, S. Kurbanov, S. Strekalova//В сборнике: AIP Conference Proceedings. 1. Сер. «International Conference ASE-I - 2021: Applied Science and Engineering, ASE-I 2021», 2021. – С. 040013.
2. Жиркова, З. С. Управление качеством образования: Учебное пособие для магистрантов высших учебных заведений / З. С. Жиркова. – Санкт-Петербург : Научное издательство «Лань», 2022. – 137 с.
3. Современные образовательные технологии: учебное пособие для вузов / Е. Н. Ашанина [и др.]; под редакцией Е. Н. Ашаниной, О. В. Васиной, С. П. Ежова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2024. – 165 с.
4. В России острая нехватка IT-безопасников и сетевых инженеров. Компании ищут их и не могут найти. [Электронный ресурс]. – URL: [[https://www.cnews.ru/news/top/2024-01-23\\_v\\_rossii\\_ostraya](https://www.cnews.ru/news/top/2024-01-23_v_rossii_ostraya)] (дата обращения: 20.06.2024).
5. Весьма гибок и проактивен: Татарстан стал самым «цифровым» регионом в России: [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tatar-inform.ru/news/vesma-gibok-i-proaktiven-tatarstan-stal-samym-cifrovym-regionom-v-rossii-5881000> (дата обращения 12.06.2024).
6. Об утверждении Стратегии в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления РТ (с изменениями на 16 мая 2023 года) (в ред. Постановлений КМ РТ от 04.06.2022 № 520, от 09.07.2022 № 661, от 16.05.2023 № 597): [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/574865232> (дата обращения: 12.06.2024).
7. Рейтинг вузов Республики Татарстан 2024 [Электронный ресурс]. – URL: [<https://promrating.ru/issledovaniya/rejting-vuzov-respubliki-tatarstan-2024/>] (дата обращения: 20.06.2024).
8. Образовательные программы Университета «Иннополис» [Электронный ресурс]. – URL: <https://innopolis.university/> (дата обращения: 6.07.2024).
9. Алдошина, М. И. Современные проблемы науки и образования : учебное пособие для вузов / М. И. Алдошина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство «Юрайт», 2024. – 182 с.

10. Программа «Приоритет-2030» [Электронный ресурс] – URL: <https://minobrnauki.gov.ru/action/priority2030/> (дата обращения: 20.06.2024).

11. Мочалова, Н. В. Цифровые технологии в хореографии и их роль в развитии коммуникативной культуры личности / Н. В. Мочалова // В сб.: Международный форум «Kazan Digital Week – 2021». – Казань, 2021. – С. 533-537.

УДК 73.048  
**ЦИФРОВОЙ КОНТЕНТ В  
СОДЕРЖАНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ ДЕТЕЙ И  
ПОДРОСТКОВ**

**DIGITAL CONTENT IN ADDITIONAL  
EDUCATION FOR CHILDREN AND  
ADOLESCENTS**

*Челнокова Т.А., д.пед.н., профессор кафедры  
теоретической и инклюзивной педагогики  
Зеленодольского филиала ЧОУ ВО «Казанский  
инновационный университет  
им. В.Г. Тимирязова», г. Зеленодольск, Россия;  
ORCID: 0009-0005-5521-7156;  
E-mail: nauka@zel.ieml.ru*

*Chelnokova T.A., Doctor of Pedagogical Sciences,  
Professor of the Department of theoretical and  
inclusive pedagogics, Zelenodolsk branch of the  
Kazan Innovative University named after V.G.  
Timiryasov, Zelenodolsk, Russia;  
ORCID: 0009-0005-5521-7156;  
E-mail: nauka@zel.ieml.ru*

**Аннотация**

В статье представлены результаты исследования автора в вопросах организации дополнительного образования детей и подростков. С опорой на нормативные документы подчеркивается роль дополнительного образования в удовлетворении индивидуальных образовательных потребностей. В статье, с опорой на историческое прошлое и настоящее, доказывается тесная связь между программами дополнительного образования и социально-экономическими процессами, проходящими в обществе. Поднимая проблему цифровизации дополнительного образования, отмечается, что в силу его гибкости, мобильности оно может быстро реагировать на изменения, происходящие в области науки и техники, предлагая образовательные программы, востребованные всеми непосредственными потребителями.

В статье раскрывается авторское значение понятия «цифровой контент в содержании дополнительного образования детей и подростков». Оно делается на основе анализа включенных в него терминов и их содержания. Среди применяемых терминов – термины, непосредственным образом связанные с цифровыми технологиями (Telegram, WhatsApp, WeChat, QQ, Skype, Zoom, Microsoft Teams и др.). Это позволяет усилить акцент на проблему исследования, цель которого связана с обоснованием развития цифрового контента в содержании дополнительного образования. В качестве положительных достижений в области дополнительного технического образования отмечается тот факт, что обучающиеся не только используют цифровой контент в целях обучения, но и сами создают его. Тексты, аудио- и видеоматериалы, интерактивные модели, программы – вот что определяется в статье как результат детского технического творчества. В статье делается акцент на педагогические технологии, применение которых становится основой личностного и метапредметного развития обучающихся.

**Ключевые слова:** цифровой контент, содержание образования, дополнительное образование детей и подростков, образовательная программа, цифровизация, цифровые платформы, продукты детского творчества, личностные результаты, метапредметные результаты, обучающийся

**Abstract**

The article presents the results of the author's research, their position on the organization

of additional education for children and adolescents. Based on normative documents, the role of additional education in meeting individual educational needs is emphasized. Based on the historical past and the present, it proves the close connection between additional education programs and socio-economic processes taking place in society. Raising the issue of digitalization of additional education, it is noted that due to its flexibility and mobility, it can quickly respond to changes taking place in the field of science and technology, offering educational programs that are in demand by all direct consumers.

The article reveals the author's meaning of the concept of «digital content in the content of additional education for children and adolescents». It is based on an analysis of the terms included in it and their content. Among the terms used are terms directly related to digital technologies (Telegram, WhatsApp, WeChat, QQ, Skype, Zoom, Microsoft Teams, etc.). This allows us to strengthen the focus on the problem of research, the purpose of which is related to the justification of the development of digital content in the content of additional education. As positive achievements in the field of additional technical education, it is noted that students not only use digital content for learning purposes, but also create it themselves. Texts, audio and video materials, interactive models, programs – this is what is defined in the article as the result of children's technical creativity. The article places some emphasis on pedagogical technologies, the use of which becomes the basis for the personal and meta-subject development of students.

**Keywords:** digital content, educational content, additional education for children and adolescents, educational program, digitalization, digital platforms, children's creativity products, personal results, meta-subject results, student

#### *Введение*

Дополнительное образование детей и подростков всегда выступало составной частью образования человека. Его истоки связаны с новообразованиями конца XIX в. Тогда в России стали открываться клубы, кружки, мастерские и т.д. На государственном уровне развитие внешкольного образования начинается в 1917 г., в Народном комиссариате просвещения РСФСР был создан отдел внешкольного образования.

В политике современной России дополнительному (внешкольному) образованию придается большое значение. Согласно ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», дополнительное образование детей и взрослых выступает структурным элементом системы образования РФ [1]. Сам термин «дополнительное образование» был закреплен законом РФ «Об образовании» в 1992 г. [2]. Развитие дополнительного образования в текущие десятилетия XXI в., подобно развитию в прошлом столетии, отражало все социально-экономические и политические процессы, происходящие

в российском обществе. И если в эпоху индустриализации открывались кружки судомоделирования, авиамоделирования, то в эпоху цифровизации заметен рост числа организаций дополнительного образования, предлагающих программы в области компьютерной грамотности, программирования, моделирования цифровых устройств и т.д. Безусловно, рост числа детей и подростков, охваченных образовательными отношениями с цифрой, цифровыми технологиями, делает необходимым исследование содержания данных отношений, педагогических технологий, на основе которых они выстраиваются. Это и определило цель нашего исследования, направленного на выявление закономерных следствий цифровизации общества в цифровизации образовательного контента содержания дополнительного образования детей и подростков.

Методической базой настоящего исследования стали исследования инновационных практик в системе дополнительного образования (Г.Н. Фомицкая); тенденций развития системы дополнительного об-

разования (А.Г. Хентонен, К.В. Бельская); стратегий глобализации дополнительного образования (А.Б. Фомина, С.М. Гололобова, О.Г. Панченко) и др. [3, 4, 5]. Актуальным методом исследования стал метод анализа педагогических практик Республики Татарстан по организации дополнительного образования детей и подростков в области цифровых технологий. Изучение предложений в сфере дополнительного образования позволяет утверждать рост числа программ, предназначенных для обучения детей и подростков цифровым технологиям. При этом можно видеть рост потребностей как детей, так и их родителей, в увеличении и разнообразии цифрового контента дополнительного образования для подрастающего поколения.

*Основная часть*

В марте 2022 г. Правительством России была утверждена Концепция развития дополнительного образования детей до 2030 г. [6]. В Концепции отмечается рост числа детей, охваченных дополнительным образованием. Государство готово оказывать активную поддержку развитию дополнительных образовательных программ высокотехнологичной инфраструктуры в технической и естественнонаучной направленности образования детей. Государственный интерес к проблемам развития системы дополнительного образования определяется не только зафиксированными в Конституции РФ образовательными правами каждого ребенка, но и потребностью экономики страны в грамотных инженерах, технологических лидерах, ученых, которые будут готовы обеспечить огромный скачок в экономическом развитии страны. Одним из свидетельств государственной активности в действиях, связанных с организацией дополнительного технического образования детей и подростков, стало повсеместное открытие Кванториумов. Кванториумы представляют собой федеральную сеть детских технопарков. Они оснащены высокотехнологичным оборудо-

ванием, благодаря которому дети изучают нейротехнологии и искусственный интеллект, беспилотную авиацию, программирование, 3D-моделирование и многое другое. В Кванториумах дети осваивают азы программирования, принципы работы операционных и микропроцессорных систем, учатся создавать собственные электронные устройства. Образовательные программы Кванториумов – это результат сотрудничества педагогов дополнительного образования с ведущими специалистами высокотехнологичных предприятий, с научными сотрудниками вузов и исследовательских институтов. Такое сотрудничество становится хорошей основой для обеспечения условий обучения будущих специалистов.

Специфика дополнительного образования заключается в том, что оно обеспечивает удовлетворение дополнительных интересов личности, ее образовательных потребностей, выстраивая персонифицированное развитие индивидуальных способностей и склонностей. Среди особенностей дополнительного образования – его выход за пределы учебного процесса, добровольность включения в него обучающихся. Несмотря на доминирование общего образования, дополнительное приобретает свою ценность, помогая выстроить индивидуальные траектории развития и социализации личности. Приобщение к одному из видов деятельности открывает ребенку свою картину мира. Опыт взаимодействия с цифрой, цифровой средой открывает новые горизонты в создании, хранении, обработке и передаче информации. Формируется актуальный опыт использования компьютерных и телекоммуникационных систем. Такой опыт обязательно пригодится в будущем, ведь в цифровую эпоху взаимодействие с цифрой прочно связано с профессиональной деятельностью человека, его обыденной жизнью. Цифровая среда играет огромную роль в развитии всех сфер общества, не является исключением и система образования. Это определяет все

возрастающую роль цифрового контента в содержании дополнительного образования.

Понятие «содержание образования» обозначает систему знаний, умений и навыков, которые должны быть освоены в процессе обучения. Им обозначается и приобретаемый опыт творческой деятельности, эмоционально-волевого отношения к миру. Содержание дополнительного образования детей и подростков ориентировано на самоопределение личности, ее самореализацию. Оно должно быть адекватно современному этапу развития общества, обеспечивая интеграцию человека в мировую культуру. Осваивая содержание программ дополнительного образования, ребенок получает возможность удовлетворения своих индивидуальных образовательных потребностей «в интеллектуальном, нравственном и физическом совершенствовании» (ФЗ «Об образовании в РФ»).

Разработка дополнительных общеобразовательных программ технической направленности, обеспечение условий «для вовлечения детей в создание искусственно-технических и виртуальных объектов, построенных по законам природы, в приобретение навыков в области обработки материалов, электротехники и электроники, системной инженерии, 3D-прототипирования, цифровизации, работы с большими данными, освоения языков программирования, машинного обучения, автоматизации и робототехники, технологического предпринимательства» зафиксированы в требованиях Концепции развития дополнительного образования детей [6, с. 14].

Цифровой контент в образовании – это представленные в цифровом виде материалы и средства обучения и воспитания. Особенностью системы дополнительного образования является тот факт, что дети не только обучаются на основе электронных материалов, но и сами становятся их создателями, участвуя в формировании новой

цифровой среды. В технических образовательных программах дополнительного образования в качестве целевых ориентиров обозначены знания, навыки и умения обучающихся, которые необходимы для формирования той или иной символической информации, визуальных и звуковых рядов. Продуктом детского творчества становятся аудиозаписи, видеоролики, интерактивные модели, изображения, создаваемые ими под руководством старшего.

Выделив в качестве проблемы исследования вопрос, каков цифровой контент содержания дополнительного образования детей и подростков, необходимо определить, что мыслится нами данным понятием. Здесь нужно отметить, что к цифровому контенту относятся различные тексты, графические изображения, анимация, аудио- и видеоматериалы, а также идеальные модели. Все обозначенные объекты выступают в качестве педагогических средств дополнительного технического образования, в процессе которого обучающийся готовится к деятельности по созданию собственного цифрового продукта. Организация обучения созданию цифрового продукта предполагает формирование знаний, навыков и умений по работе на цифровых платформах, таких как веб-сайты, социальные сети и т.д.

Осваивая программы дополнительного образования, обучающиеся сами участвуют в создании виртуальных образовательных программ. Активно осваивая современные информационные и цифровые технологии, они овладевают умениями создания презентаций в Microsoft Power Point, навыкам взаимодействия друг с другом в Telegram, WhatsApp, WeChat, QQ, Skype, Zoom, Microsoft Teams и т.д. В условиях освоения программ дополнительного образования стихийное овладение личностью современными технологиями общения приобретает некоторую целенаправленность.

Знакомство с образовательными программами дополнительного образования

детей и подростков свидетельствует о многообразии их содержания, а значит о многообразии цифрового контента содержания образования. Р.Р. Кубеков в своем исследовании называет такие направления обучения, как: 3D-моделирование; Web-дизайн; программирование; мобильная робототехника; нейротехнологии; квадрокоптеры (операторы дронов); дополненная и виртуальная реальность; нейросети и т.д. [7].

Спецификой системы дополнительного образования является его мобильность, она позволяет расширить список образовательных программ, эффективно внедряя новые достижения науки и техники в образовательный процесс. Другой особенностью программ дополнительного образования выступает их гибкость, что позволяет эффективно адаптировать их к требованиям общества, науки, техники, культуры, отдельной личности [8]. Обозначенные особенности образовательных программ дополнительного образования позволяют им оптимально быстро реагировать на все новое, приобщая к нему подрастающее поколение.

Среди образовательных программ дополнительного образования – программа 3D-моделирования, которая «включает в себя знакомство обучающихся с 3D-графикой, ее терминологией»; основам «3D-моделирования, принципами работы в 3D-пространстве и использование 3D-инструментов» и т.д. [9, с. 329]. Данные знания могут сыграть важную роль в профессиональном становлении подростка, какое бы направление своей деятельности он ни выбрал. Освоение программы способствует развитию цифровых умений обучающихся, в их соприкосновении в работе с цифрой развиваются способности технического творчества, выстраивается актуальная основа для жизни в цифровую эпоху.

Изучая содержание технических программ организаций дополнительного образования, нужно отметить, что они стро-

ятся на основе разнообразных цифровых платформ. Цифровые платформы – это программные среды, в них происходит интеграция аппаратных средств с прикладными решениями. Например, Chat GPT платформа (основана на искусственном интеллекте), открывает новое направление в обучении [9]. Знакомство с платформой в организациях дополнительного образования еще на этапе учебы в общеобразовательной школе окажет позитивное влияние на становление будущих инженеров, которым предстоит создавать основу будущих перспектив российской экономики.

Выстраивая образовательный процесс в системе организаций дополнительного образования, важно использовать современные технологии обучения, способные управлять процессом развития личности обучающегося, ориентируя его на развитие востребованных временем качеств личности. Среди актуальных качеств современного человека – командность (умение работать в команде), коммуникативность (умение выстраивать стратегии общения и взаимодействия). Свои перспективы в формировании данных качеств имеет проектный метод обучения. Проектирование становится частью учебной деятельности человека, осваивающего технические программы дополнительного образования. В этих целях также актуально изучение цифровых платформ. Например, Trello, Kaiten платформы позволяют руководить проектной деятельностью обучающихся, они пока не работают в России, но изучение их возможностей в процессе учения может способствовать активизации применения в будущем. В совместной работе над проектами развиваются навыки командности, растет потенциал коммуникативных умений.

Еще одной актуальной технологией в работе педагогов дополнительного образования является кейс-технология. В процессе решения технологических кейсов формируются навыки, которые необходимы для



прохождения полного цикла инженерного продукта, от замысла до его воплощения в моделях.

Универсальной педагогической технологией в освоении технических программ дополнительного образования в области компьютерной грамотности, программирования, 3D-моделирования и т.д. является ТРИЗ-технология (Теория решения изобретательских задач). Разработчик технологии Г.С. Альшуллер создал методическую систему, в которой познавательная деятельность сочетается с активизацией и развитием мышления. Включение данной технологии в процесс обучения готовит будущих специалистов к решению изобретательских задач.

Формируя содержание учебного занятия, педагог дополнительного образования должен помнить, что в ожидаемые результаты обучения входят не только предметные, но и личностные и метапредметные результаты. А современные программы дополнительного технического образования имеют огромный потенциал для достижения выше названных результатов.

#### *Выводы*

Дополнительное образование детей и подростков – это образование, получаемое параллельно с общим образованием. Его развитие в показателях охвата детей России, в качестве и многообразии образовательных программ, в материально-техническом обеспечении, в профессионализме педагогических кадров, в их способности идти в ногу со временем мобильно транслируя достижения науки и техники в со-

держании образования. Особенности современной эпохи обусловлен процесс цифровизации содержания образования, он охватывает не только программы технического направления, но и программы художественно-эстетической направленности, физического развития. Цифровые технологии становятся сегодня неразрывной частью образовательного процесса, предполагая учебную работу с помощью платформы в Интернете. Ответом на вызовы современной эпохи становится рост числа программ дополнительного образования, построенных на основе Интернет технологий, предполагающих взаимодействие обучающихся с цифрой, создание ими цифровых продуктов. Нужно отметить популярность данных программ у подрастающего поколения, их желание освоить пространство цифровой среды, которая окружает современного человека. Все сказанное определяет необходимость исследования цифровых моделей обучения в организациях дополнительного образования.

#### *Благодарности*

Благодарю моего аспиранта Кубекова Р.Р. за проведенное им исследование в области обучения детей искусству 3D-моделирования, за помощь и консультацию в вопросах технического дополнительного образования детей и подростков. Благодарим Казанский инновационный университет им. В. Г. Тимирязова за помощь в организации и проведении исследования.

#### **Список литературы**

1. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 17.06.2019) «Об образовании в Российской Федерации». – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_140174](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174).
2. Закон РФ «Об образовании» от 10.07.1992 № 3266-1 (последняя редакция). – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_1888](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_1888).
3. Фомицкая, Г. Н. Инновационные воспитательные практики в региональной системе дополнительного образования детей / Г. Н. Фомицкая // Вестник Бурятского государственного университета. Образование. Личность. Общество. – 2022. – № 1. – С. 78-84.

4. Хентонен, А. Г. Современные тенденции развития системы дополнительного образования в России / А. Г. Хентонен, К. В. Бельская // Молодой ученый. – 2016. – № 23. – С. 527-529.
5. Фомина, А. Б. Стратегия глобальной модернизации дополнительного образования детей / А. Б. Фомина, С. М. Гололобова, О. Г. Панченко. // Народное образование. – 2015. – № 2 (1445). – С. 22-26.
6. Концепция развития дополнительного образования детей до 2030 года. – URL: <http://static.government.ru/media/files/3fIgkk1AJ2ENBbCFVEkA3c>
7. Кубеков, Р. Р. Развитие технического творчества в системе дополнительного образования в России: на примере частного образовательного учреждения «Андромеда» / Р. Р. Кубеков // Педагогика и просвещение. – 2022. – № 4. – С. 1-16.
8. Щетинская, А. И. Теория и практика современного дополнительного образования детей: учеб. пособие / А. И. Щетинская, О. Г. Тавстуха, М. И. Болотова. – Оренбург: Изд-во ОГПУ, 2006. – 404 с.
9. Челнокова, Т. А. Развитие детского технического творчества в процессе обучения 3D-моделированию в системе дополнительного образования / Т. А. Челнокова, Р. Р. Кубеков // Самарский научный вестник. – 2023. – Т. 12, № 2. – С. 326-330.
10. White J. et al. A Prompt Pattern Catalog to Enhance Prompt Engineering with ChatGPT //arXiv preprint arXiv:2302.11382. – 2023.

*Андрянов Сергей Михайлович*, руководитель конструкторско-исследовательской группы расчетных исследований двигателей службы главного конструктора по двигателям Научно-технического центра ПАО «КАМАЗ», г. Набережные Челны, Россия;

*Аникин Игорь Вячеславович*, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», ведущий специалист сектора инновационного развития ГБУ «Безопасность дорожного движения», г. Казань, Россия;

*Ахмадиева Роза Шайхайдаровна*, д.пед.н., профессор, ректор ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия;

*Басюк Виолетта Александровна*, студент Института автоматики и электронного приборостроения, кафедры стандартизации, сертификации и технологического менеджмента ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;

*Бикмуллина Ильсияр Ильдаровна*, к.т.н., доцент кафедры АСОИУ ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;

*Бобожанов Махсуд Каландарович*, д.т.н., профессор кафедры «Электроснабжение», Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан;

*Брякин Иван Васильевич*, д.т.н., профессор, заведующий лабораторией ИИС Института машиноведения, автоматики и геомеханики Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызская Республика;

*Валиев Раиль Фанисович*, магистрант ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия;

*Верзунов Сергей Николаевич*, к.т.н., доцент, в.н.с. лаб. ИИС Института машиноведения, автоматики и геомеханики Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызская Республика;

*Габбазов Руслан Марселевич*, ведущий специалист сектора инновационного развития ГБУ «Безопасность дорожного движения», г. Казань, Россия;

*Галимуллина Надия Мидхатовна*, к.и.н., доцент кафедры социологии, политологии и менеджмента ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;

*Галиуллин Искандер Гаязович*, соискатель ученой степени кандидата наук, директор кадрово-ресурсного центра ИТ, ИИ и робототехники Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;

*Гараев Тимур Кавасович*, к.т.н., доцент кафедры специальной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;

*Гарифуллин Данис Фаритович*, магистрант ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия;

*Гатин Марат Русланович*, студент ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия;

*Гуреев Виктор Михайлович*, д.т.н., профессор, помощник начальника управления научно-исследовательских работ ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;

*Гуторова Гульнара Даминжановна*, к.пед.н., научный сотрудник отдела электронно-цифровых ресурсов Института Татарской энциклопедии и регионоведе-

ния Академии наук РТ, преподаватель кафедры педагогики Института психологии и образования ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;

*Дагаева Мария Витальевна*, начальник Центра разработки и сопровождения информационных систем ГБУ «Безопасность дорожного движения», г. Казань, Россия;

*Дроздикова-Зарипова Альбина Рафаиловна*, к.пед.н., доцент кафедры педагогики Института психологии и образования ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;

*Зиннуров Тагир Альмирович*, к.т.н., старший научный сотрудник кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия;

*Кайс Кайс Абдулрахман Али*, председатель Отдела гражданского строительства Йеменского профсоюза инженеров, г. Сана, Йемен;

*Каминский Семен Олегович*, аспирант ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;

*Карпенкова Дарья Ивановна*, специалист 1 категории сектора разработки ГБУ «Безопасность дорожного движения», г. Казань, Россия;

*Касимова Адина Учкуновна*, аспирант Института машиноведения, автоматике и геомеханики Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызская Республика;

*Ковешников Артем Александрович*, начальник отдела технического обеспечения испытаний интеллектуальных транспортных систем ФАУ «РОСДОРНИИ», г. Москва, Россия;

*Кокунин Петр Анатольевич*, к.т.н., и.о. заведующего кафедрой физики перспективных технологий и материаловедения Института искусственного интеллекта,

робототехники и системной инженерии ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;

*Кормильцев Владислав Сергеевич*, инженер 2 категории, ООО «Градпрактика», г. Москва, Россия;

*Куликов Андрей Сергеевич*, главный конструктор по двигателям Научно-технического центра ПАО «КАМАЗ», г. Набережные Челны, Россия;

*Мавлиев Ленар Фидаесович*, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой цифровых дорожных технологий ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия;

*Макаров Евгений Геннадьевич*, главный конструктор, директор Научно-технического центра ПАО «КАМАЗ», г. Набережные Челны, Россия;

*Малыхина Полина Вадимовна*, главный специалист отдела научного обеспечения испытаний интеллектуальных транспортных систем ФАУ «РОСДОРНИИ», г. Москва, Россия;

*Минаев Ильдар Айратович*, аспирант кафедры «ЭСиС» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;

*Минниханов Рифкат Нургалеевич*, д.т.н., профессор, президент Академии наук РТ, председатель Совета Ассоциации содействия цифровому развитию, директор ГБУ «Безопасность дорожного движения», г. Казань, Россия;

*Мочалова Нинель Владимировна*, доцент кафедры хореографического искусства ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия;

*Мухаметжанов Рустем Наимович*, к.т.н., доцент кафедры «Электроэнергетические системы и сети» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;

*Николаева Регина Владимировна*, к.т.н., доцент кафедры «Цифровые дорожные технологии» ФГБОУ ВО «Казанский госу-

дарственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия;

*Новоселов Никита Денисович*, магистрант ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;

*Омельянский Дмитрий Сергеевич*, магистрант ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;

*Пашин Дмитрий Михайлович*, д.т.н., проректор по цифровой трансформации и инновационной деятельности, научный руководитель Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;

*Попов Игорь Александрович*, д.т.н., профессор кафедры теплотехники и энергетического машиностроения, руководитель лаборатории моделирования физико-технических процессов ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», член-корреспондент Академии наук РТ, г. Казань, Россия;

*Свистельников Антон Андреевич*, начальник отдела научного обеспечения испытаний интеллектуальных транспортных систем ФАУ «РОСДОРНИИ», г. Москва, Россия;

*Стрекалова Гузэль Рафаиловна*, доцент кафедры менеджмента и предпринимательской деятельности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, Россия;

*Тимершин Булат Айратович*, техник-программист сектора разработки встраиваемых систем научно-исследовательского центра «Центр превосходства Специальная робототехника и искусственный интеллект» Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;

*Туйчиев Фуркат Нумонович*, к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение» Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан;

*Тукаев Самат Маратович*, руководитель направления «СКАТ» Группы компаний «Эсорт», г. Казань, Россия;

*Тураев Сардор Дустмурад угли*, ассистент кафедры электроэнергетики и электротехники, Бухарский институт управления природными ресурсами Национального исследовательского университета «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» (ТШАМЕ), г. Бухара, Узбекистан;

*Фарахов Ильдар Рамзилович*, заместитель директора – начальник управления развития информационных систем ГБУ «Безопасность дорожного движения», г. Казань, Россия;

*Феоктистова Илсэяр Рустамовна*, к.и.н., доцент кафедры философии и социально-политических дисциплин ЧОУ ВО «Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирязова (ИЭУП)», г. Казань, Россия;

*Феофанов Владислав Владимирович*, заместитель начальника отдела технического обеспечения испытаний интеллектуальных транспортных систем ФАУ «РОСДОРНИИ», г. Москва, Россия;

*Хамитов Ренат Минзашарифович*, к.т.н., доцент кафедры «Информационные технологии и интеллектуальные системы» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;

*Хафизов Эдуард Радикович*, к.т.н., доцент кафедры автомобильные дороги, мосты и тоннели Казанского государственного архитектурно-строительного университета, г. Казань, Россия;

*Холкин Антон Владиславович*, магистрант ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;

*Хузиахметова Карина Рустамовна*, ассистент кафедры цифровых дорожных технологий ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия;

*Хузяшев Рустэм Газизович*, к.ф.-м.н., доцент кафедры «ЭСиС» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;

*Хусаинова Регина Зуфаровна*, преподаватель кафедры музеологии, культурологии и искусствоведения ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», ведущий научный сотрудник ОСП «Научный центр безопасности жизнедеятельности Академии наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;

*Челнокова Татьяна Александровна*, д.п.н., профессор кафедры теоретической и инклюзивной педагогики Казанского инновационного университета им. В.Г. Тимирязова, г. Зеленодольск, Россия;

*Чикрин Дмитрий Евгеньевич*, д.т.н, директор Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;

*Шалагин Сергей Викторович*, д.т.н., доцент, профессор кафедры компьютерных систем ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия.

Адрес издателя:  
420059, Республика Татарстан,  
г. Казань, ул. Оренбургский тракт, д. 5  
Тел. 8 (843) 5333776

E-mail: [guncbgd@mail.ru](mailto:guncbgd@mail.ru)

Адрес редакции: 420059, Республика Татарстан,  
г. Казань, ул. Оренбургский тракт, д. 5  
Тел. 8 (843) 5333776

E-mail: [guncbgd@mail.ru](mailto:guncbgd@mail.ru)

Подписано в печать 20.09.2024

Дата выхода в свет 25.09.2024

При перепечатке ссылка на журнал обязательна

Усл. печ. л. 7 Тираж 500 экз.

Отпечатано в типографии ОСП «НЦБЖД АН РТ»  
420059, г. Казань, ул. Оренбургский тракт, д. 5.

Publisher address:  
420059, Republic of Tatarstan,  
Kazan, st. Orenburg tract, 5  
Tel. 8 (843) 5333776

E-mail: [guncbgd@mail.ru](mailto:guncbgd@mail.ru)

Editorial office address:  
420059, Republic of Tatarstan,  
Kazan, st. Orenburg tract, 5 Tel. 8 (843) 5333776  
E-mail: [guncbgd@mail.ru](mailto:guncbgd@mail.ru)

Signed for printing 20.09.2024

Issue date 25.09.2024

When reprinting, a reference to the journal is required  
Conv. print l. 7 Circulation 500 copies.

Printed in typography of Scientific Center  
of Safety Research  
420059, Kazan, st. Orenburg tract, 5.