

ISSN 2218–130X

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
**«Вестник Санкт-Петербургского  
университета ГПС МЧС России»**

Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service  
of EMERCOM of Russia

**№ 3 – 2022**

**Редакционный совет**

**Председатель** – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Ложкин Владимир Николаевич**, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

**Заместитель председателя** (главный редактор) – кандидат технических наук, доцент **Матвеев Александр Владимирович**, заведующий кафедрой прикладной математики и информационных технологий.

**Члены редакционного совета:**

доктор химических наук, профессор **Калач Андрей Владимирович**, начальник кафедры безопасности информации и защиты сведений, составляющих государственную тайну Воронежского института федеральной службы исполнения наказаний России;

член-корреспондент РАЕН, почетный работник Высшего профессионального образования Российской Федерации, сертифицированный преподаватель международного образовательного центра Artech, доктор технических наук, профессор **Мокрозуб Владимир Григорьевич**, заведующий кафедрой компьютерно-интегрированных систем в машиностроении Тамбовского государственного технического университета;

доктор технических наук, доцент **Кубасов Игорь Анатольевич**, профессор кафедры информационных технологий Академии управления МВД России;

доктор технических наук, профессор **Маторин Сергей Игоревич**, профессор кафедры информационных систем и технологий Белгородского университета кооперации, экономики и права;

доктор технических наук, профессор **Минаков Владимир Федорович**, профессор кафедры информатики Санкт-Петербургского государственного экономического университета;

доктор технических наук, профессор **Рыбаков Анатолий Валерьевич**, начальник научно-исследовательского центра Академии гражданской защиты МЧС России;

доктор технических наук, профессор **Буйневич Михаил Викторович**, профессор кафедры безопасности информационных технологий Санкт-Петербургского университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича;

кандидат физико-математических наук, доцент **Сатыбалдина Дина Жагыпаровна**, заведующий кафедрой «Информационная безопасность» Евразийского национального университета им. Л.Г. Гумилева;

доктор технических наук, профессор **Дворников Сергей Викторович**, профессор кафедры радиосвязи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного;

кандидат технических наук **Израилов Константин Евгеньевич**, доцент кафедры защищенных систем связи Санкт-Петербургского университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, старший научный сотрудник лаборатории проблем компьютерной безопасности Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук;

кандидат технических наук, PhD **Тиамийу Осулале Абдулрахамон**, заведующий кафедрой «Телекоммуникационная наука» Государственного университета г. Илорина (Нигерия);

доктор химических наук, профессор, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники **Ивахнюк Григорий Константинович**, заведующий кафедрой инженерной защиты окружающей среды Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета);

доктор технических наук, профессор **Барбин Николай Михайлович**, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отделения учебно-научного комплекса пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Уральского института ГПС МЧС России;

доктор психологических наук, профессор **Джиги Надежда Дмитриевна**, профессор кафедры психологии и физического воспитания Барановичского государственного университета (Белоруссия);

доктор психологических наук, доцент **Бобрищев Алексей Александрович**, профессор кафедры физической подготовки Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

доктор физико-математических наук, профессор **Гончаренко Игорь Андреевич**, профессор кафедры естественных наук Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь;

доктор химических наук, профессор **Богданова Валентина Владимировна**, профессор кафедры процессов горения и взрыва Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь;

#### **Секретарь совета:**

доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, академик Международной академии холода (Санкт-Петербургское региональное отделение) **Медведева Людмила Владимировна**, заведующий кафедрой физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.



## **Редакционная коллегия**

Председатель – доктор технических наук, доцент **Зыбина Ольга Александровна**, заместитель начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России по научной работе;

Заместитель председателя – кандидат технических наук, доцент полковник внутренней службы **Онов Виталий Александрович**, начальник центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

### **Члены редакционной коллегии:**

кандидат технических наук, доцент подполковник внутренней службы **Турснев Сергей Александрович**, начальник отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, доцент **Терёхин Сергей Николаевич**, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор педагогических наук, профессор **Лобжа Михаил Тимофеевич**, профессор кафедры «Физическая культура» Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I;

доктор медицинских наук, профессор **Евдокимов Владимир Иванович**, главный научный сотрудник Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России;

доктор технических наук, кандидат химических наук, профессор **Ложкина Ольга Владимировна**, профессор кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

### **Секретарь коллегии:**

кандидат технических наук, доцент **Максимов Александр Викторович**, заместитель начальника кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.



## Содержание 3–2022

**Буйневич М.В., Матвеев А.В., Смирнов А.С.** Актуальные проблемы подготовки специалистов в области информационной безопасности МЧС России и конструктивные подходы к их решению ..... 1

### ***СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧС***

**Калач А.В., Капустин А.А., Шавалеев М.Р.** К вопросу о совершенствовании устройств эвакуации людей из пожара. .... 18

### ***БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ***

**Андрюшкин А.Ю., Рустамова М.У., Кадочникова Е.Н.** Анализ условий роста поперечной трещины защитного покрытия металлической конструкции. .... 26

**Меркулов А.П., Кожевин Д.Ф.** Определение частоты возникновения пожара в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности в зависимости от площади здания. .... 34

### ***ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ***

**Тумановский А.А., Теплякова Т.Д., Чешко И.Д.** Дефлаграционное горение (взрывы) топливно-газовоздушных смесей – новая специализация пожарно-технических экспертов. .... 42

### ***МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ПРОЦЕССАМИ***

**Яцуценко В.Н., Мазаник А.И.** Научно-методический аппарат рационального распределения оперативных групп для проведения мониторинга ледовой обстановки. .... 50

**Дворников С.В., Власенко В.И., Бибарсов М.Р.** Антенная система воздушного ретранслятора для систем подвижной связи. .... 58

**Волошенко А.А., Андреев А.О., Козлов А.А.** Расчетная модель и информационный комплекс оценки опасности от пожаров в зданиях, сооружениях. .... 68

**Дворников С.В., Якушенко С.А., Жданов А.Ю.** Помехоустойчивость сигналов КАМ-16, сформированных на основе гексаганальных решеток. .... 76

**Наумов В.Н., Буйневич М.В., Стрелец А.Д.** Анализ применимости процессного подхода, основанного на графовой аналитике, к исследованию организационных систем. .. 89

**Алиреза Атаеи Фатхабади, Акрам Реза, Сафие Сиадат.** Представление метода повышения энергоэффективности протоколов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях с центральным узлом. .... 102

**Седнев В.А., Седнев А.В.** Моделирование организации работ по оборудованию сборного пункта поврежденных машин. .... 110

**Куватов В.И., Колеров Д.А.** Алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений при прогнозировании ущерба от пожаров. .... 119

**Вострых А.В., Матвеев А.В., Перлин А.М., Попивчак И.И.** Специализированные мобильные приложения в сфере безопасности: сравнительный анализ решений и возможности развития. .... 128

### ***ЭКОНОМИКА, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ***

**Бородушко И.В., Таранцев А.А.** Вопросы проблемно-ориентированного управления структурной трансформацией организационно-экономических систем России. .... 138



***ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДГОТОВКИ СОТРУДНИКОВ  
МЧС РОССИИ К УСЛОВИЯМ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ***

**Булат Р.Е., Лебедев А.Ю.** Системный подход к развитию очной формы обучения с применением дистанционных образовательных технологий. .... 147

**Надя Эбрахими, Али Мостафайе, Химан Махмуд Факхе.** Исследование взаимосвязи между агрессией и индивидуально-социальной адаптацией у старшеклассниц города Павех. .... 159

**Бобрищев А.А., Мотовичев К.В.** Восстановление работоспособности и когнитивных способностей спортсменов силовых единоборств с использованием метода аудиовизуальной стимуляции. .... 172

***ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ***

**Константинова А.С.** Натурная модель очага пожара для оценки взаимодействия горящих нефтепродуктов и огнетушащего порошка. .... 180

**Пустовалова Н.С.** Регрессионная модель перераспределения компонентов нефтепродуктов в анализе равновесного пара в зависимости от их физико-химических свойств. .... 188

**Ефимов В.В.** Доказательство обоснованности организационно-технических принципов интеграции баз данных состояния глобально распределенной информационной системы методом от альтернативного. .... 196

## CONTENTS

**Buinevich M.V., Matveev A.V., Smirnov A.S.** Current problems of information security specialists training and constructive approaches to their solution in the EMERCON of Russian. .... 1

### **RISKS REDUCTION AND ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF EMERGENCIES. SAFETY ENSURING AT EMERGENCY SITUATIONS**

**Kalach A.V., Kapustin A.A., Shavaleev M.R.** To the question of improvement of devices for evacuation of people from fire. .... 18

### **SAFETY OF CRITICALLY IMPORTANT AND POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS**

**Andryushkin A.Yu., Rustamova M.U., Kadochnikova E.N.** Analysis of conditions for the growth of a transverse crack of a protective coating of a metal structure. .... 26

**Merkulov A.P., Kogevin D.F.** Determining the frequency of fire occurrence in buildings of various classes of functional fire hazard depending on the area of the building. .... 34

### **FIRE-FIGHTING TACTICS, PHYSICO-CHEMICAL PRINCIPLES OF BURNING AND EXTINGUISHING PROCESSES**

**Tumanovsky A.A., Teplyakova T.D., Cheshko I.D.** Deflagration combustion (explosions) of fuel-gas-air mixtures – a new specialization of fire-technical experts. .... 42

### **MATHEMATIC MODELING, COMPUTER TECHNOLOGIES IN THE THEORY OF COMPLEX PROCESSES MANAGEMENT**

**Yatsutsenko V.N., Mazanik A.I.** Scientific and methodological apparatus for rational distribution of operational groups for ice monitoring. .... 50

**Dvornikov S.V., Vlasenko V.I., Bibarsov M.R.** Air repeater antenna system for mobile communication systems. .... 58

**Voloshenko A.A., Andreev A.O., Kozlov A.A.** Calculation model and information complex of fire hazard assessment in buildings, structures. .... 68

**Dvornikov S.V., Yakushenko S.A., Zhdanov A.Yu.** Noise immunity of QAM-16 signals formed on the basis of hexagonal gridges. .... 76

**Naumov V.N., Buinevich M.V., Strelets A.D.** Applicability analysis of the process approach, Based on graph analytics, to organizational systems study. .... 89

**Alireza Ataei Fathabadi, Akram Reza, Safieh Siadat.** Presenting a method in order to increase the energy efficiency of routing protocols in wireless sensor networks in the central node mode in the center of the network. .... 102

**Sednev V.A., Sednev A.V.** Modeling of the organization of work on the equipment of the assembly point of damaged machines. .... 110

**Kuvatov V.I., Kolerov D.A.** Intelligent decision support algorithm for fire damage prediction. .... 119

**Vostrykh A.V., Matveev A.V., Perlin A.M., Popivchak I.I.** Specialized security mobile apps: comparative analysis of solutions and development opportunities. .... 128

### **ECONOMICS, MANAGEMENT SYSTEMS**

**Borodushko I.V., Tarantsev A.A.** Issues of problem-oriented management of structural transformation of organizational and economic systems of Russia. .... 138

## **PSYCHOLOGICAL AND PEDAGOGICAL FOUNDATIONS OF PREPARING OF EMPLOYEES OF EMERCOM OF RUSSIA IN EMERGENCY SITUATION CONDITION**

**Bulat R.E., Lebedev A.Yu.** System approach to development a very form of learning with application remote educational technologies. .... 147

**Nadia Ebrahimi, Himan Mahmood Fakhe, Ali Mostafaie.** Investigating the relationship between aggression and individual-social adjustment in the female high school students in Paveh city. .... 159

**Bobrishev A.A., Motovichev K.V.** Restoration of working capacity and cognitive abilities of athletes of power martial arts using the method of audiovisual simulation. .... 172

### **WORKS OF YOUNG SCIENTISTS**

**Konstantinova A.S.** A full-scale model of a fire source for evaluating the interaction of burning petroleum products and extinguishing powder. .... 180

**Pustovalova N.S.** Regression model of redistribution of components of petroleum products in the analysis of equilibrium vapor depending on their physico-chemical properties. .... 188

**Efivov V.V.** Principles of globally distributed information system state databases integration – validity proof by method from alternative. .... 196

УДК 378

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МЧС РОССИИ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К ИХ РЕШЕНИЮ**

(по материалам доклада на Ученом совете Санкт-Петербургского университета  
ГПС МЧС России от 24 марта 2022 г.)

**Михаил Викторович Буйневич**✉;

**Александр Владимирович Матвеев;**

**Алексей Сергеевич Смирнов.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**

✉[bmv1958@yandex.ru](mailto:bmv1958@yandex.ru)

*Аннотация.* Актуализируются проблемы подготовки специалистов в области информационной безопасности и защиты информации, характерные для МЧС России. Предлагаются пути их разрешения за счет исследования предметной области по канонической диалектической формуле: Тенденция → Потребности vs Возможности → Следствие vs Причины → Решение vs Ресурсы. В качестве последних рассматриваются две категории: «политическая воля» и «рабочие руки». Резюмируются конструктивные подходы к решению вскрытых актуальных проблем в области ИБ-образования МЧС России: во-первых, это создание автоматизированной среды подготовки с собственной базой знаний и разработка инновационной технологии обучения в ней; во-вторых, ревизия Рабочей программы переподготовки и актуализация нормативно-правовой базы и руководящих документов; в-третьих, наличие выпускающей кафедры и подготовка бакалавров и/или магистров и/или специалистов по укрупненной группе специальностей и направлений 10.00.00; в-четвертых, ревизия учебных нормативов и достойная оплата труда профессорско-преподавательского состава; в-пятых, регистрация рецензируемого журнала и открытие аспирантуры/адъюнктуры, а также диссертационного совета по новой номенклатуре научных специальностей в области информационной и кибербезопасности; в-шестых, развертывание киберполигона и участие в работе Центра компетенций по информационной безопасности. Делаются выводы о необходимости проведения ряда научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и формирования соответствующей научной школы как условий системного решения проблемных вопросов.

*Ключевые слова:* информационная безопасность и защита информации, подготовка специалистов, МЧС России, проблемные вопросы, конструктивные решения

**Для цитирования:** Буйневич М.В., Матвеев А.В. Смирнов А.С. Актуальные проблемы подготовки специалистов в области информационной безопасности МЧС России и конструктивные подходы к их решению // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 1–17.

## CURRENT PROBLEMS OF INFORMATION SECURITY SPECIALISTS TRAINING AND CONSTRUCTIVE APPROACHES TO THEIR SOLUTION IN THE EMERCON OF RUSSIAN

Mikhail V. Buinevich✉;

Alexander V. Matveev;

Alexey S. Smirnov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,

Saint-Petersburg, Russia

✉[bmv1958@yandex.ru](mailto:bmv1958@yandex.ru)

*Abstract.* The article actualizes the problems of training specialists in the field of information security and information protection, typical for the Ministry of Emergency Situations of Russia. Ways of solving them by researching the subject area according to the canonical dialectical formula are proposed: Trend → Needs vs Opportunities → Consequence vs Causes → Solution vs Resources. Two categories are considered as the latter: «political will» and «labour». There are summarized the constructive approaches to the solution of the revealed actual problems in the field of IS-education of EMERCOM of Russia: firstly, the creation of automated training environment with its own knowledge base and development of innovative technologies of training in it; secondly, the revision of working program of retraining and actualization of regulatory framework and guiding documents; thirdly, the availability of graduate departments and training bachelors and/or masters and/or specialists in the unified group of specialties and directions 10.00.00; fourthly, the revision of training norms and worthy remuneration of teaching staff; fifthly, the registration of a peer-reviewed journal and the opening of graduate/adjuncture programs, as well as the dissertation council for the new nomenclature of scientific specialties in information and cybersecurity; sixthly, the deployment of the cyber polygon and participation in the Center of information security competencies. Conclusions are drawn on the need for a number of research and development works activities and the formation of an appropriate scientific school as conditions for a systemic solution to problematic issues.

*Keywords:* information security, information protection, training of specialists, EMERCOM of Russia, problematic issues, constructive solutions

**For citation:** Buinevich M.V., Matveev A.V., Smirnov A.S. Current problems of information security specialists training and constructive approaches to their solution in the EMERCON of Russian // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 1–17.

### Введение

В соответствии с одноименной Доктриной «информационная безопасность является основополагающим направлением обеспечения национальной безопасности Российской Федерации». Поэтому вопросы киберустойчивости информационной инфраструктуры и безопасности информации находятся в зоне постоянного внимания руководства МЧС России. В качестве кардинальных решений последних лет следует отметить утверждение ведомственной концепции информационной безопасности (ИБ), а также введение штатных должностей и структурных подразделений по защите информации (ЗИ).

В последние годы ИБ-отрасль переживает бурное развитие, сопровождающееся повышенными требованиями к профильным специалистам. В создавшейся ситуации руководством ведомства в 2019 г. было принято решение приоритетным направлениям по ее выправлению считать «повышение уровня подготовки должностных лиц МЧС России в области ИБиЗИ», что с очевидностью требует создания соответствующей «моменту» системы ИБ-образования.

В качестве первого шага в этом направлении по решению Коллегии на базе института развития Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы (ГПС) МЧС России было организовано проведение профессиональной переподготовки по категории «Должностные лица МЧС России, осуществляющие профессиональную деятельность в области обеспечения ИБиЗИ». Реализация процесса переподготовки возложена на кафедру прикладной математики и информационных технологий, профессорско-преподавательский состав (ППС) которой имеет профессиональный и педагогический опыт в области ИБиЗИ. В сжатые сроки была разработана, согласована с ФСБ России и ФСТЭК России и утверждена рабочая программа «Техническая защита информации ограниченного доступа, не содержащей сведения, составляющие государственную тайну» (Программа), закуплено необходимое лабораторное оборудование и создан уникальный учебно-методический комплекс.

Дидактическая сложность решения задачи переподготовки «неоднородного» (рис. 1) по уровню инженерно-технической подготовленности контингента обучающихся, да еще в условиях пандемии, потребовала от ППС кафедры консолидации усилий, высокого педагогического и методического мастерства, самоотверженности и преданности долгу; что и было отмечено в приказе о его поощрении руководством ведомства. Высочайший профессионализм и заинтересованный творческий подход ППС кафедры отмечают также и обучающиеся по Программе.

В период с 2020 по 2021 г. 115 сотрудников МЧС России прошли профессиональную подготовку и получили соответствующие документы о квалификации, что уже позволило ряду территориальных органов МЧС России по субъектам Российской Федерации получить лицензии ФСБ России, необходимые для легитимного с точки зрения законодательства использования средств криптографической ЗИ, не содержащей сведения, составляющие государственную тайну.

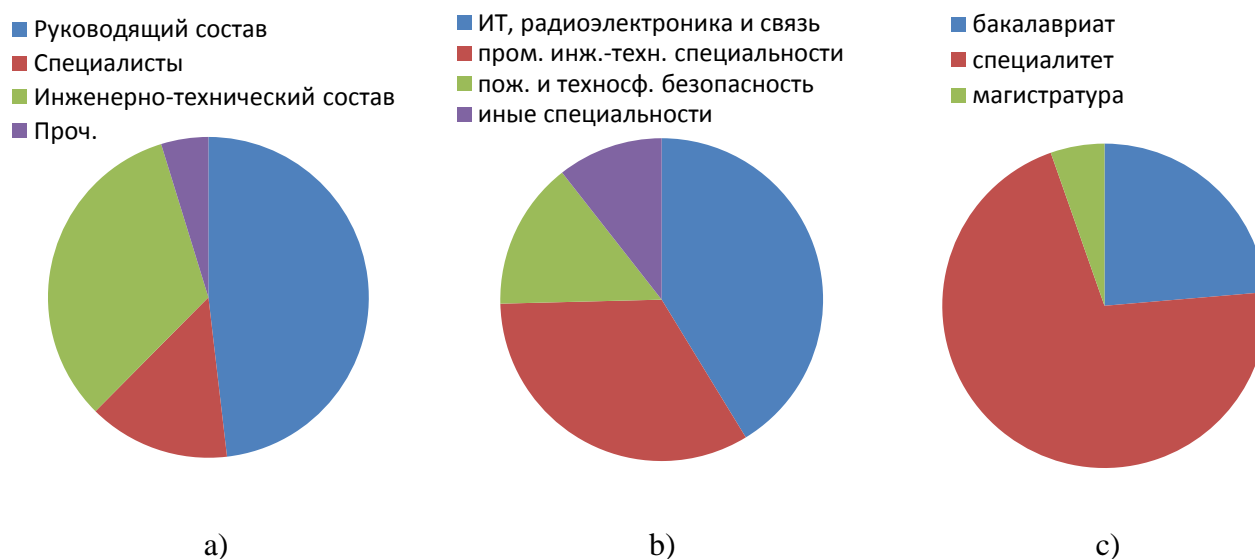
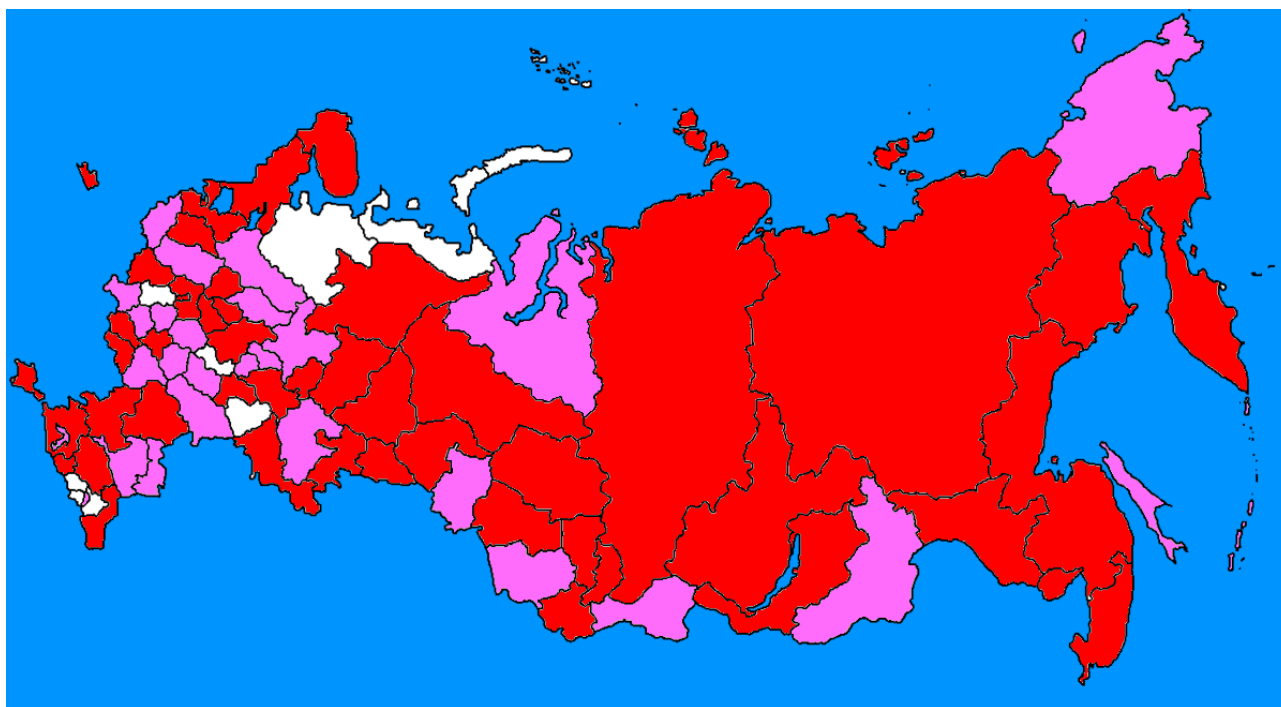


Рис. 1. Характеристика «неоднородности» контингента обучающихся:  
а) категория; б) базовое образование; в) квалификация  
(ИТ – информационные технологии)

В текущем 2022 г. планируется переподготовить (и работа уже проводится) еще 75 должностных лиц МЧС России, осуществляющих профессиональную деятельность в области обеспечения ИБиЗИ, в том числе для подведомственных организаций; в настоящий момент указанные должностные лица приступили к написанию выпускных аттестационных

работ. В планах МЧС России обеспечить Программой переподготовки 100 % охват территориальных органов МЧС России (рис. 2), и в дальнейшем поддерживать этот показатель на неснижаемом уровне в условиях кадровой «текучки».

Кроме вышеописанного, ИБ-образование в МЧС России в настоящее время часто сводится к самообразованию «на местах» и запланированному/проводимому повышению квалификации по целому ряду программ в подведомственных МЧС России высших учебных заведениях. Так, в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России уже реализуются следующие программы: «Начальники (заместители начальников) структурных подразделений МЧС России по защите государственной тайны и обеспечению безопасности информации»; «Руководители структурных подразделений, осуществляющие профессиональную деятельность в области защиты информации»; «Техническая защита информации. Способы и средства защиты информации от несанкционированного доступа»; «Сотрудники (работники) территориальных органов и организаций МЧС России, осуществляющие деятельность по работе с персональными данными». Кроме того, на некоторых направлениях подготовки по программам бакалавриата и магистратуры ведется преподавание учебных дисциплин «Безопасность информационных систем и защита информации» и «Информационная безопасность и защита информации», дающих «ликбез» в области ИБиЗИ.



**Рис. 2. Территориальный охват программой переподготовки должностных лиц МЧС России: красный – получивший дипломы, розовый – обучающиеся в настоящее время, белый – в плане на обучение**

Безусловно, сегодняшнее положение дел в ведомстве с этим вопросом не сравнимо с еще недавним прошлым, даже трехлетней давности; однако современная, в том числе и международная, обстановка крайне динамична и ставит перед ИБ-специалистами все новые вызовы и проблемные вопросы, требующие безотлагательных и системных решений, в том числе в части совершенствования ИБ-образования.

Рассмотрим актуальные проблемы подготовки специалистов в области ИБиЗИ, характерные для МЧС России, проведем анализ, а также предложим конструктивные подходы к их решению – осуществим синтез; до полноценного исследования потребуется лишь оценка качества и эффективности – ее, в отсутствие опыта (Best Practices) от внедрения



синтезированных подходов, изложим в гипотетической форме, проведя мысленный эксперимент.

Исследование проведем по канонической диалектической формуле – «от живого созерцания к абстрактному мышлению и от него к практике...», а именно: наблюдая с позиции ученого-исследователя некую современную тенденцию предметной области (далее по тексту – **Тенденция**), выявим ключевое противоречие между (*VS*, *сокр. от лат. versus*, против) потребностями (**Требуется**) и возможностями (**Существует**), которое приводит к негативным последствиям (**Следствие**), ставящим проблемные вопросы о борьбе за эффективность ИБ-образования. Решение этих проблемных вопросов лежит в плоскости выявления и последующего устранения или минимизации породивших их причин (**Причина**), для чего предлагаются соответствующие решения (**Решение**) и ресурсы (**Ресурсы**) для их обеспечения. В качестве ресурсов рассматриваются всего две категории: «политическая воля» и «рабочие руки» (вернее – «головы»). Под первым понимается готовность руководства различного уровня принимать и проводить в жизнь, возможно, непопулярные, но стратегически верные (на перспективу) и системно обоснованные управленческие решения; под вторым – коллектив достаточно молодых, энергичных и мотивированных исполнителей, занимающихся самообразованием, профессиональным высшим образованием или научной деятельностью («Учеников») под руководством более опытных, «остепенённых» и профессиональных наставников («Учителей»).

### Проблемы vs решения

Рассмотрим проблемные вопросы не по степени их важности, а в некотором порядке, в котором они стоят перед кафедрой прикладной математики и информационных технологий.

#### 1. Качество обучающихся.

Взросшие потребности МЧС России в «дипломированных» квалифицированных специалистах в области ИБиЗИ увеличили рост численности сотрудников ведомства, отправляемых на переподготовку (**Тенденция 1.1**).

Объективно подобный рост количества автоматически сопровождается ростом «неоднородности» контингента обучающихся (**Существует 1.1**), однако традиционные формы обучения специалистов в области ИБиЗИ предполагают именно однородный (в смысле уровня подготовленности к освоению новых знаний) контингент начинающих обучение (**Требуется 1.1**). Незначительная неоднородность, возникающая в процессе обучения, обычно нивелируется во время самостоятельной подготовки обучающихся, но по большей части за счет дополнительной нагрузки и педагогического мастерства ППС во время аудиторных (контактных) занятий. В цикле переподготовки (далее – на примере группы ИР-20-42ПК, 24 чел., период обучения 16 апреля 2020 г. – 16 октября 2020 г.) базовое образование обучающихся сильно разнилось (ИТ, радиотехника, связь, пожарная и техносферная безопасность, промышленные инженерно-технические и иные специальности), а опыт работы по специальности ИБиЗИ был в диапазоне: без опыта – 5 чел., незначительный опыт (до года) – 15 чел., более 5 лет – 4 чел. Причем при переподготовке доминировали в связи с пандемией дистанционные технологии и самостоятельная работа (6 месяцев из 7, отведенных на обучение).

Не всегда достаточный уровень инженерно-технической (желательно ИТ) подготовленности обучающихся к получению новых знаний также приводит к дидактической сложности задачи переподготовки «неоднородного» контингента, требующей для своего решения высокого педагогического и методического мастерства и времени на реализацию индивидуального подхода. Как результат – перегрузка ППС (**Следствие 1.1**), «тянущая» за собой низкую эффективность обучения (**Следствие 1.2**), а затем и несоответствующее ожиданиям и предъявляемым требованиям качество переподготовки (**Следствие 1.3**).

Причина видится в отсутствии условий для качественного самообразования (**Причина 1.1**) как для подготовки, так и в ходе освоения Программы, а ее устранение –



в плоскости максимальной автоматизации обучения, то есть постепенного создания автоматизированной среды подготовки/переподготовки/самоподготовки специалистов (АСПС) ([Решение 1.1](#)) и разработки соответствующей ей инновационной технологии обучения ([Решение 1.2](#)) силами ППС и заинтересованных «молодых» ученых ([Ресурс 1.1](#)).

## 2. Фундаментальная подготовка.

Взрывное развитие IT-индустрии ([Тенденция 2.1](#)), в том числе в мире Интернета-вещей, спровоцировало рост уязвимостей программно-аппаратного обеспечения; как следствие – активизировались принципиально новые классы угроз информационной безопасности, готовность к отражению которых близка к «нулевой» и требует все новых и новых знаний. Одновременно новые вызовы, обусловленные резко обострившейся информационной войной, активизировали межгосударственные источники деструктивных воздействий на информационную инфраструктуру Российской Федерации ([Тенденция 2.2](#)). Непрерывающаяся разработка инновационных средств ЗИ, поступающих (и ожидающихся к поступлению) на «вооружение» ведомства, требует новых компетенций (умений и навыков) по их «боевому» применению ([Тенденция 2.3](#)) все большему количеству специалистов.

В сложившихся условиях от «защитника информации» требуется умение решать «синтетические» задачи ([Требуется 2.1](#)), что предполагает наличие широкого кругозора в смежных отраслях знания, а также возможность самостоятельного приобретения новых знаний, умений и навыков ([Требуется 2.2](#)) на базе прочного профессионального фундамента.

Как свидетельствуют результаты регулярных проверок территориальных органов и «разбора полетов» (в смысле анализа инцидентов) ИБ, на сегодняшний день должностные лица МЧС России, осуществляющие профессиональную деятельность в области обеспечения ИБиЗИ, демонстрируют знания, умения и навыки «текущего момента» в «узкой нише» предметной области ([Существует 2.1](#)). Как следствие – низкая адаптационная способность к новым задачам и обстановке, и как результат – запоздалая реакция, в том числе на инциденты ([Следствие 2.1](#)).

Причины следует искать в первую очередь в отсутствии базового образования по профильным специальностям ([Причина 2.1](#)) и отсутствие возможности самообразовываться ([Причина 2.2](#)) как временной, так и чисто технической.

Базовое ИБ-образование, согласно федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования (ФГОС ВО), предполагает наличие в вузе профильной выпускающей кафедры ([Решение 2.1](#)), осуществляющей подготовку специалистов (бакалавров, магистров) по укрупненной группе специальностей и направлений (УГСН) 10.00.00 «Информационная безопасность» ([Решение 2.2](#)).

Все освоившие полный курс Программы переподготовки, сдавшие государственный экзамен по «Технической защите конфиденциальной информации», защитившие выпускную аттестационную работу и получившие диплом государственного образца, по праву считаются выпускниками Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. В этом смысле кафедра прикладной математики и информационных технологий по праву уже может считаться выпускной, что соответствует требованию ФГОС, и должна получить приставку «ЗИ» – ПМ, ИТ и ЗИ. Очередь – за решением руководства ([Ресурс 2.1](#)) – оснований более чем достаточно.

Решения, направленные на создание условий для качественного самообучения ([Решение 2.3](#) и [Решение 2.4](#)), и ресурсы для их обеспечения ([Ресурс 2.2](#)) эквивалентны изложенным в п. 1.

## 3. Качество ППС.

Бурное развитие отрасли ИБиЗИ ([Тенденция 3.1](#)) при «патронаже» государства автоматически привело к ужесточению требований к профильным специалистам ([Тенденция 3.2](#)) и программам их подготовки/переподготовки. Специфика содержания Программы и особенностей процесса переподготовки современных специалистов в области

ИБиЗИ требуют изучения в достаточно сжатые сроки принципиально разных (в том числе инновационных) учебных дисциплин. Это означает (ввиду отсутствия у штатного ППС актуальных знаний и компетенций) краткосрочное привлечение высококлассных преподавателей – профессионалов в своей предметной области, но обучающихся по единому замыслу – Программе ([Существует 3.1](#)).

В настоящее время практически ликвидирована практика почасовой оплаты сторонних преподавателей и специалистов (а существующий низкий тариф не соответствует их высокой квалификации и их дефициту на рынке труда); к тому же штатное расписание не позволяет иметь в составе ППС кафедры требуемую «обойму» узких специалистов ([Существует 3.2](#)).

Поэтому ввиду ограниченного количества штатного ППС, они должны быть «универсалами»: иметь ученую степень (желательно в области ИБиЗИ) и ученое звание, стаж практической работы по данному направлению на должностях руководителей или ведущих специалистов более 10 последних лет, опыт службы в соответствующих государственных структурах (ФСТЭК России, ФСБ России, Роскомнадзор) ([Требуется 3.1](#)). Полное требование к ППС выпускающей кафедры изложено в ФГОС ВО.

Лимитированный временной ресурс ограниченного контингента ППС не позволяет ни оказать требуемую помощь коллегам, ни уделить достаточно времени обучающимся (для примера, у ППС в среднем руководство 25 выпускными аттестационными работами, оплачиваемых по ставке 1/15 от руководства магистерскими работами – да еще и в летний период отпусков). Как результат – преподавание «устаревших» Best Practices (то, что штатный ППС знает по собственному опыту) и, как следствие, – подготовка «несовременного» специалиста ([Следствие 3.1](#)).

«Краеугольный камень» проблемы – недооцененность значимости и труда ППС, занятого в сфере ИБиЗИ ([Причина 3.1](#)).

Для исправления сложившегося положения потребуется ревизия учебных нормативов по динамически развивающимся техническим областям знания типа IT, ИБ и т.п., когда знания кардинально обновляются каждые пять-шесть лет (и даже чаще), в отличие, например, от математики и естественнонаучных дисциплин [1]; возможно путем введения значительного поправочного коэффициента «инновационности» соответствующих дисциплин при расчете нагрузки ([Решение 3.1](#)). Возможны и иные механизмы, которые должны привести к достойной оплате труда ППС, задействованного в реализации Программы ([Решение 3.2](#)).

Достаточно интересным механизмом решения проблемы «кадрового голода» является вовлечение ИБ-специалистов «экстра-класса» в учебную и научную деятельность кафедры через поступление в аспирантуру, что потребует лицензирования соответствующей научной специальности ([Решение 3.3](#)). Открытие аспирантуры автоматически «тянет» за собой потребность в регистрации специальностей 2.3.6 «Методы и системы защиты информации, информационная безопасность» и/или 1.2.4 «Кибербезопасность» в издаваемом ВАК-журнале ([Решение 3.4](#)), а в последствии и в открытии диссертационного совета по вышеуказанным специальностям ([Решение 3.5](#)). Эти шаги, требующие исключительно «политической воли», гипотетически позволят организовать «замкнутый цикл» подготовки кадров высшей квалификации и не заниматься поиском диссоветов, журналов и кадров.

Естественно, что такие дефицитные (как имеющиеся, так и получаемые в результате системного образования) кадры обладают уникальным набором теоретических и практических знаний, и остро встает вопрос их «клонирования», которое возможно только за счет специальной информационной технологии построения интегрированной базы знаний специалистов по ИБиЗИ в рамках АСПС ([Решение 3.6](#)) силами «молодых» ученых и ППС кафедры.

#### **4. Ведомственная специфика.**

В бурное развитие отрасли ИБиЗИ ([Тенденция 4.1](#)) неизбежно вовлечено и МЧС России со всеми вытекающими последствиями ([Существует 4.1](#)). Одним из них является

потребность в изучении нормативно-правовой базы (НПБ) и руководящих документов (РД) – Регуляторов. Проблема здесь заключается в том, что на сегодняшний день только одним регулятором (ФСТЭК России) в разделе «Нормативные правовые акты, организационно-распорядительные документы, нормативные и методические документы...» и только по вопросам технической защиты информации, не содержащей сведения, составляющие государственную тайну, зарегистрировано свыше 30 открытых документов общим объемом свыше тысячи страниц (и это не считая свыше 60 стандартов по технической защите). Гарантировать какое-либо качество освоения (прочтения, осмысления, согласования, интеграции в единый концепт, а затем и внедрения в профессиональную деятельность) в реальные сроки этой НПБ и РД не представляется возможным, даже если предположить высокое качество документов (что не всегда соответствует истине: документы противоречивы, часть из них «морально» устарела и отвечают не на все необходимые вопросы, написаны «юридическим» или «программистским» языком и т.д.).

В то же время есть специфика ИБиЗИ в МЧС России, которая находит свое отражение, в том числе в соответствующих ведомственных РД ([Требуетя 4.1](#)), а также используемых средствах и технологиях защиты. Эта специфика должна быть изучена переподготавливаемыми должностными лицами, осуществляющими профессиональную деятельность в данной предметной области ([Требуетя 4.2](#)).

Значительные затраты времени на получение новых знаний по причине экстенсивного характера освоения НПБ и РД ([Следствие 4.1](#)) в рамках регламентированной Программы и в условиях дефицита учебного времени ([Причина 4.1](#)) приводят к необходимости доучивания «на местах» ([Следствие 4.2](#)). Переподготовка около половины из запланированного количества сотрудников выявила определенные недочеты и «слабые» места, связанные именно со структурой и содержанием Программы, о чем свидетельствует опыт, приобретенный ППС, а также практика работы «выпускников» на местах. Очевидно, что с учетом этих причин существующая Программа требует существенной модификации.

В этих условиях необходима ревизия рабочей программы на предмет актуализации преподаваемой НПБ и РД ([Решение 4.1](#)), а также принципиально новая организация и ведение их информационного хранилища ([Решение 4.2](#)) в рамках АСПС ([Решение 4.3](#)). Решение этих задач также возможно силами ППС и заинтересованных «молодых» ученых ([Ресурс 4.1](#)).

## 5. Best Practices.

Наблюдаемый практически «экспоненциальный» рост количества и разнообразия инцидентов ИБ ([Тенденция 5.1](#)) предполагает наличие, приобретение и «капитализацию» Best Practices ([Требуетя 5.1](#)) со стороны «защитников информации». Отсутствие у должностных лиц МЧС России, осуществляющих профессиональную деятельность в области обеспечения ИБиЗИ, практически-ориентированных знаний, умений и навыков по отражению широкого спектра угроз ([Существует 5.1](#)) с неизбежностью приводит к их неспособности адекватного реагирования на инциденты ИБ ([Следствие 5.1](#)). Причина такого положения дел кроется в крайне слабой учебно-материальной базе системы подготовки/переподготовки, не позволяющей реализовать краеугольный постулат качественного обучения – «сплав» теории и практики ([Причина 5.1](#)), а также в отсутствии системы «капитализации» Best Practices ([Причина 5.2](#)).

В настоящее время переподготовка, несмотря на отведенные на практические занятия часы, по вышеуказанной причине имеет перекося в сторону пассивного получения теоретических знаний. Это касается практически всех изучаемых дисциплин (за редким исключением, типа поддерживаемых закупленными VipNet и DallasLock). Например, практические вопросы изучения физико-технических дисциплин «Способы и средства технической защиты конфиденциальной информации от утечки по техническим каналам» и «Техническая защита конфиденциальной информации от специальных воздействий» сводятся к семинарской форме. Отдавая себе отчет, что полноценные технические лаборатории (специально оборудованные помещения, относительно дорогостоящее

лабораторное оборудование, сертифицированный обслуживающий персонал и т.п.), в условиях «штучного производства специалистов» являются нерентабельными (но могут ими стать при подготовке бакалавров, магистров и обязательном обучении всех «ИБиЗИ-грамоте»), все же существует альтернатива в виде компьютерных симуляторов, что органично вписывается в концепцию автоматизированной среды ([Решение 5.1](#), [Ресурс 5.1](#)). При проведении занятий по «бумажным» дисциплинам, связанным с организацией технической защиты конфиденциальной информации, также отсутствует возможность постановки и решения практически-ориентированных задач.

«Капитализация» Best Practices предполагает ведения корпоративной (университетской, кафедральной) базы знаний по ИБиЗИ ([Решение 5.2](#)) силами ППС и заинтересованных «молодых» ученых, а также талантливых обучающихся всех видов подготовки ([Ресурс 5.1](#)).

Ввиду значимости «локально» накапливаемых Best Practices для задач, решаемых Центром компетенций по ИБ, созданным по распоряжению заместителя Министра МЧС России [2] чуть более года назад и функционирующим в рамках Комиссии по информационным технологиями и информационной безопасности [3], возможна кооперация его информационных ресурсов с базами знаний подведомственных вузов, реализующих образовательные программы в области ИБиЗИ.

В связи с отсутствием возможности проведения практических занятий на «боевых» системах по обнаружению, предотвращению, отражению и ликвидации последствий реальных компьютерных атак, расследованию компьютерных инцидентов руководством ведомства [4] было принято решение «О создании киберполигона МЧС России для отработки действий по противодействию компьютерным атакам для должностных лиц МЧС России, осуществляющих профессиональную деятельность в области защиты информации». Ввиду технологической готовности площадки и научно-методической нацеленности ППС ожидается решение о его развертывании ([Решение 5.3](#)) на базе и ресурсами Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России ([Ресурс 5.2](#)).

Все вышерассмотренные проблемные вопросы и их решения сведены в таблицу.

### Условия решения проблемных вопросов

Рассмотренные проблемы взаимообусловлены и местами взаимопротиворечивы, потому их решения должны быть взаимоувязаны в систему. По причине высокой наукоемкости системного решения проблемных вопросов эта миссия не может быть доведена до конца и с надлежащим качеством в «рабочем порядке» – необходимо провести соответствующую и достаточно объемную научно-исследовательскую (НИР), а в перспективе и опытно-конструкторскую работу (ОКР).

Из множества тематик НИР, ассоциированных с рассматриваемой предметной областью, выделим Top-3, представляющиеся авторам ключевыми, а потому – первостепенными. Представим их цели, ожидаемые результаты, их (результатов) ценность и новизну.

*НИР-1. «Разработка методологии и технологии построения и функционирования автоматизированной среды подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов в области ИБиЗИ».*

Тематика данной НИР ассоциирована с созданием АСПС ([Решение 1.1](#), [Решение 2.3](#), [Решение 3.6](#), [Решение 4.3](#), [Решение 5.1](#)), разработкой инновационной технологии обучения в этой среде ([Решение 1.2](#), [Решение 2.3](#)), а также ведение корпоративной базы знаний (из состава этой среды) по ИБиЗИ ([Решение 5.2](#)), – то есть с подавляющим большинством «неадминистративных» (требующих «рабочих рук», а не «политической воли») решений.

Цель работы – повышение автоматизации и технологизации процесса обучения.

Ожидаемые результаты: инфокоммуникационная архитектура АСПС в области ИБиЗИ; научно-обоснованная новая информационная технология обучения специалистов

по ИБиЗИ в автоматизированной среде; проект технического задания на ОКР по созданию в составе АСПС лабораторного учебно-научного комплекса (ЛУНК).

К настоящему времени имеется ряд открытых исследований, посвященных решению как теоретических, так и практических (в основном дидактических) вопросов обучения в автоматизированной среде. Однако в них не нашли должного отражения информационно-технологические аспекты построения и функционирования собственно такой среды, особенно для подготовки специалистов по ИБиЗИ, что существенно снижает ожидаемый уровень эффективности от автоматизации. Также отсутствуют прагматичные научно-обоснованные и количественно измеримые требования и рекомендации по совершенствованию существующей системы подготовки специалистов по ИБиЗИ, которые могут быть получены только на базе инновационной методологии обучения в автоматизированной среде и технологических решений. Все это говорит в пользу новизны данной научной работы.

Научная ценность ожидаемых результатов состоит в доказательстве возможности и определении путей повышения эффективности подготовки специалистов по ИБиЗИ в автоматизированной среде. Научно-техническая – в формировании прогрессивных исходных требований к ЛУНК, отвечающих высшему мировому уровню, и создании предпосылок для его рациональной разработки, внедрения и использования. Методическая – в элементах инновационной технологии оказания образовательных услуг в сфере подготовки специалистов в области ИБиЗИ. И практическая – в тщательной проработке комплекса основных вопросов, сокращающей сроки и затраты на создание лабораторной базы Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России и снижающей вероятность ошибок в ходе дальнейших работ.

В случае успешной реализации проекта ЛУНК Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России будет обладать инфраструктурой, гипотетически позволяющей максимально эффективно использовать потенциал ППС, создать условия проведения полноценной подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов в области ИБиЗИ, а также получить конкурентные преимущества в иных сферах образовательной деятельности.

*НИР-2. «Разработка компетентностных моделей должностных лиц МЧС России, осуществляющих профессиональную деятельность в области обеспечения информационной безопасности и защиты информации».*

Тематика данной НИР «работает» на все решения, обеспечивая их неким ИБ-«инвариантом» – моделью деятельности специалиста «в боевых условиях».

Цель работы – типизация, формализация и структуризация деятельности должностных лиц с последующим решением на основе получаемых компетентностных моделей прикладных задач в области ИБ-образования.

Ожидаемые результаты: компетентностные модели должностных лиц МЧС России, осуществляющих профессиональную деятельность в области обеспечения ИБиЗИ (основной результат); специальная методология и технология построения учебных дисциплин по ИБиЗИ; гармонизированная терминологическая база системы обеспечения ИБ МЧС России (проект); научно-обоснованные предложения в Рабочую программу переподготовки.

Теоретическая значимость ожидаемых результатов состоит в том, что будет установлена зависимость между информационно-функциональными потребностями должностных лиц МЧС России для успешного осуществления ими профессиональной деятельности в области обеспечения ИБиЗИ и детализированным набором компетенций, осваиваемых в ходе обучения в различных формах, а также доказана возможность формирования оптимальных учебных планов и индивидуальных траекторий всех форм ИБ-образования.

Практическая значимость ожидаемых результатов состоит в том, что:

– специальная технология построения учебных дисциплин по ИБиЗИ позволит сократить сроки и трудозатраты на формирование оптимальных учебных планов



и индивидуальных траекторий всех форм ИБ-образования за счет возможности автоматизации процесса;

– гармонизированная терминологическая база системы обеспечения ИБ МЧС России позволит снизить вероятность ментальных ошибок при работе с нормативно-правовыми, руководящими и распорядительными документами по ИБиЗИ;

– научно-обоснованные предложения в Рабочую программу позволят привести ее в соответствие с современными требованиями и тем самым перейти на качественно новый, современный уровень переподготовки.

В качестве аналога рассматривается типовая Программа переподготовки ФСТЭК России и согласованная с ФСБ России «Техническая защита информации ограниченного доступа, не содержащей сведения, составляющие государственную тайну», которая и легла в основу модернизируемой Программы.

В случае успешного выполнения НИР ожидается значительное повышение научной обоснованности решений, принимаемых в сфере ИБ-образования, с гарантированным повышением уровня технической грамотности, информированности и обученности должностных лиц МЧС России, осуществляющих профессиональную деятельность в области обеспечения ИБиЗИ.

НИР-3. «Выбор и обоснование рационального варианта построения киберполигона для МЧС России».

Тематика данной НИР ассоциирована с разворачиванием Киберполигона ([Решение 5.3](#)), которое требуется реализовать в условиях беспрецедентного санкционного давления на отечественную экономику и науку и его негативных последствий: недоступность зарубежных программно-аппаратных образцов ИТ-индустрии, ограничение доступа к мировым информационным ресурсам, дефицит высококлассных ИТ-специалистов ввиду оттока за рубеж и пр. Однако, несмотря на ограничения, на доступном отечественном рынке представлена целая линейка корпоративных информационных систем типа «киберполигон» с широким ценовым и функциональным диапазоном, а также степенью внедрения различных производителей; также всегда существует вариант собственной разработки.

В этих обстоятельствах существует проблема выбора если не оптимального, то рационального варианта построения киберполигона для нужд МЧС России. Эта проблема, несмотря на кажущееся «изобилие» исследований по вопросам эффективности, «вытекает» из отсутствия необходимых научно-методических оценочных средств, тем более учитывающих специфические информационно-функциональные потребности должностных лиц МЧС России, ответственных за обеспечение ИБиЗИ, а также процедуру принятия решений в ведомстве с учетом современных финансовых и прочих ограничений.

Очевидно, что с учетом этих причин и обстоятельств существует и актуальна потребность в проведении соответствующей двухэтапной НИОКР: на первом этапе (НИР) будет необходимо осуществить разработку необходимых научно-методических оценочных средств и произвести системный технико-экономический анализ с целью выбора и обоснования рационального варианта построения киберполигона для ведомства, а на втором (ОКР) – осуществить его разворачивание на базе Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Цель работы созвучна с ее названием. Ожидаемые результаты: техническое задание на построение киберполигона для МЧС России (основной); критерии эффективности и методология оценки рациональности вариантов построения корпоративной информационной системы типа «киберполигон»; технико-экономический анализ предложений на рынке киберполигонов.

Зарубежные аналоги могут рассматриваться только в контексте анализа передового опыта создания и использования киберполигонов. В качестве реализованных вариантов корпоративных информационных систем типа «киберполигон» планируются к рассмотрению

отечественные образцы и разработки: АО «Перспективный мониторинг», «Ростелеком-Солар», Positive Technologies и др.

К настоящему времени известен ряд открытых исследований, посвященных решению как теоретических, так и практических вопросов выбора и обоснования вариантов построения информационных систем, однако целостная критериальная методология оценки рациональности вариантов построения информационной системы типа «киберполигон» среди них отсутствует.

Реализация НИР позволит оптимизировать сроки, финансовые и трудозатраты на реализацию рационального варианта пилотного проекта киберполигона при требуемом функционале для МЧС России, а также предоставить органам управления ведомства научно-методические оценочные средства для потенциального повышения качества принимаемых ИТ-решений в ведомстве.

Системность и стратегическая обоснованность требующихся в направлениях актуальных проблем ИБ-образования в МЧС России решений предполагает наличие весомого научного задела и потенциала, на создание которого объективно требуются значительные ментальные и организационные усилия.

Научным заделом, позволяющим успешно решать задачи перечисленных выше НИР, являются релевантные инициативные и заказные НИР, выполненные Санкт-Петербургским университетом ГПС МЧС России и/или его сотрудниками. Необходимый научно-технический уровень для проведения предлагаемой НИР обеспечивается научной и профессиональной квалификацией, а также накопленным опытом научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности планируемого коллектива исполнителей. Вот пример – один из авторов настоящей статьи (профессор М.В. Буйневич) участвовал от исполнителя до руководителя в свыше 40 НИОКР, выполненных в рамках предприятий военно-промышленного комплекса и ряда технических вузов. Кафедра, возглавляемая другим из авторов (доцент А.В. Матвеев), последние годы является ведущей кафедрой в сфере научной работы в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России.

Такой «задел-потенциал» не возникает на «пустом месте» – требуется некая объективно-субъективная сущность, притягивающая, концентрирующая и материализующая научную мысль. Речь идет о наличии в Университете такого общественного феноменологического явления, как «научная школа» по проблемным вопросам.

Не вдаваясь в полемику относительно ее ключевых характерных признаков (этому вопросу посвящено немало текущих публикаций [5, 6] и дискуссия далеко не закончена, так как понятие эволюционирует [7]), позволим себе высказать соображение, солидаризируясь с Е.А. Акиншиной и Н.И. Мартишиной [8], что полноценная научная школа не может быть создана волевым и тем более административным усилием.

Согласно работе [8] для возникновения школы требуется сочетание ряда объективных и субъективных условий, удачное пересечение которых не так часто встречается в науке: «идея» + «исследовательская программа (НИРы по широкому спектру, но в пространстве идеи)» + «лидер» + «круг единомышленников» + «социальные возможности» (поддержка руководства). Авторы считают, что именно такие уникальные условия сегодня сформировались в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России (а конкретно – на кафедры прикладной математики и информационных технологий), что позволяет «сложить пазл» соответствующей научной школы.

Таблица

Тенденция	Проблема			Следствие	Причина	Решение / Ресурсы
	Существует	VS	Требуется			
<p><b>1.1.</b> Рост численности личного состава на переподготовку</p>	<p><b>1.1.</b> «Неоднородный» контингент</p>	vs	<p><b>1.1.</b> Контингент, подготовленный к освоению Программы</p>	<p><b>1.1.</b> Перегрузка ППС. <b>1.2.</b> Низкая эффективность обучения. <b>1.3.</b> Низкое качество переподготовки</p>	<p><b>1.1.</b> Отсутствие условий для качественного самообучения</p>	<p><b>1.1.</b> Создание АСПС. <b>1.2.</b> Разработка инновационной технологии обучения / <b>1.1.</b> «Рабочие руки»</p>
<p><b>2.1.</b> Взрывное развитие IT- индустрии. <b>2.2.</b> Новые вызовы и угрозы. <b>2.3.</b> Внедрение инновационных средств ЗИ</p>	<p><b>2.1.</b> Знания, умения и навыки «текущего момента» в «узкой нише» предметной области</p>	vs	<p><b>2.1.</b> Умение решать «синтетические» задачи <b>2.2.</b> Возможность самостоятельного приобретения новых знаний, умений и навыков</p>	<p><b>2.1.</b> Низкая адаптационная способность к новым задачам и обстановке → запоздалая реакция в том числе на инциденты ИБиЗИ</p>	<p><b>2.1.</b> Отсутствие фундаментальной подготовки по ИБиЗИ. <b>2.2.</b> Отсутствие условий для качественного самообучения</p>	<p><b>2.1.</b> Наличие выпускающей кафедры: ПМиИТ → иЗИ. <b>2.2.</b> Подготовка специалистов (бакалавров, магистров) по УГСН 10.00.00 / <b>2.1.</b> «Политическая воля». * * * <b>2.3.</b> Создание АСПС. <b>2.4.</b> Разработка инновационной технологии обучения / <b>2.2.</b> «Рабочие руки»</p>
<p><b>3.1.</b> Бурное развитие отрасли ИБиЗИ. <b>3.2.</b> Ужесточение требования к профильным специалистам и программам их подготовки/ переподготовки</p>	<p><b>3.1.</b> Отсутствие у штатного ППС актуальных знаний и компетенций. <b>3.2.</b> Штатное расписание не позволяет иметь в составе ППС требуемое количество узких специалистов</p>	vs	<p><b>3.1.</b> Высокая квалификация штатного ППС (согласно ФГОС): специалистов «из окопов» ≥ 10 %; «остепененных» ≥ 55 % , из них минимум 1 по специальности 05.13.19 (1.2.4 и 2.3.6)</p>	<p><b>3.1.</b> Преподавание устаревших Best Practices → подготовка «несовременного» специалиста</p>	<p><b>3.1.</b> Существенная разница в уровне оплаты труда ППС и специалистов по ИБиЗИ</p>	<p><b>3.1.</b> Ревизия учебных нормативов. <b>3.2.</b> Достойная оплата труда ППС. <b>3.3.</b> Аспирантура по ИБиЗИ. <b>3.4.</b> ВАК-журнал по специальностям 1.2.4 + 2.3.6. <b>3.5.</b> Диссовет по специальностям 1.2.4 + 2.3.6 / <b>3.1.</b> «Политическая воля». * * * <b>3.6.</b> Создание АСПС / <b>3.2.</b> «Рабочие руки»</p>



Тенденция	Проблема			Следствие	Причина	Решение / Ресурсы
	Существует	VS	Требуется			
<b>4.1.</b> Бурное развитие отрасли ИБиЗИ	<b>4.1.</b> Ведомственная вовлеченность	vs	<b>4.1.</b> Учет специфики ИБиЗИ в МЧС России. <b>4.2</b> Глубокое погружение обучающихся в ведомственные РД, используемые средства и технологии ЗИ	<b>4.1.</b> Трата дефицитного учебного времени на «неактуальные» РД. <b>4.2.</b> Необходимость доучивания на местах	<b>4.1.</b> Ограничения и содержание РП. <b>4.2.</b> Отсутствие БД актуальных РД	<b>4.1.</b> Ревизия РП. <b>4.2.</b> Ведение БД ПРБ и актуальных РД. <b>4.3.</b> АСПС / <b>4.1.</b> «Рабочие руки»
<b>5.1.</b> Рост количества и разнообразия инцидентов ИБ	<b>5.1.</b> Отсутствие практически-ориентированных знаний, умений и навыков по отражению широкого спектра угроз	vs	<b>5.1.</b> Наличие, возможность приобретения и «капитализация» Best Practices	<b>5.1.</b> Неспособность адекватного реагирования на инциденты ИБ	<b>5.1.</b> Отсутствие современных учебно-тренировочных средств. <b>5.2.</b> Отсутствие системы «капитализации» Best Practices	<b>5.1.</b> Создание АСПС. <b>5.2.</b> Ведение корпоративной базы знаний по ИБиЗИ / <b>5.1.</b> «Рабочие руки». * * * <b>5.3.</b> Участие в развертывании киберполигона / <b>5.2</b> «Политическая воля»

## Заключение

Общая неудовлетворенность качеством образования в сфере ИБ в Российской Федерации является лейтмотивом аналитического отчета «Об образовании специалистов по информационной безопасности в Российской Федерации», подготовленного в конце 2021 г. авторитетной экспертной подгруппой по кибербезопасности НТИ «Энерджинет» [9]. По результатам опроса 207 компетентных респондентов, значительную долю которых составили как заказчики ИБ-решений, так и работодатели их разработчиков, отмечают, что 74 % из них заинтересованы в создании и в последующей грамотной эксплуатации систем защиты/безопасности информационных систем своими силами, соответственно, в наличии собственных специалистов в области проектирования и внедрения, а не только контроля и эксплуатации. При ответах на вопросы подавляющее большинство опрошенных отметило недостаточность практических и(или) теоретических знаний выпускников по УГСН «Информационная безопасность». Такая ситуация является характерной и для МЧС России, что и послужило лейтмотивом настоящей статьи.

Резюмируем (укрупненно) изложенные выше авторами конструктивные подходы к решению вскрытых ими актуальных проблем в области ИБ-образования МЧС России (табл.): во-первых, это создание автоматизированной среды подготовки с собственной базой знаний и разработка инновационной технологии обучения в ней; во-вторых, ревизия рабочей программы и актуализация НПБ и РД; в-третьих, наличие выпускающей кафедры прикладной математики и информационных технологий (иЗИ) и подготовка бакалавров и/или магистров и/или специалистов по УГСН 10.00.00; в-четвертых, ревизия учебных нормативов и достойная оплата труда ППС; в-пятых, регистрация ВАК-журнала и открытие аспирантуры/адъюнктуры, а также диссертационного совета по новой номенклатуре научных специальностей в области информационной и кибербезопасности; в-шестых, развертывание киберполигона и участие в работе Центра компетенций по ИБ. Еще раз акцентируем внимание на то, что ресурсы в их обеспечение для вуза носят в основном нематериальный характер, что, однако, не переводит их решение автоматически в разряд «бумажных» и несложных.

Необходимыми условиями системного решения проблемных вопросов подготовки специалистов в области ИБ МЧС России является проведение целого спектра научных исследований в данной предметной области, а также формирование и становление соответствующей научной школы.

### Список источников

1. Дарда Е.С., Забелин А.Г. Любое образование становится неактуальным уже через несколько лет. URL: <https://rg.ru/2021/10/05/liuboe-obrazovanie-stanovitsia-neaktualnym-uzhecherez-neskolko-let.html?ysclid=1839b0mw97359162630> (дата обращения: 10.08.2022).
2. Об организации работы комиссии по информационным технологиями и информационной безопасности: Распоряжению заместителя Министра МЧС России от 10 авг. 2021 г. № 672. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».
3. О создании комиссии по информационным технологиями и информационной безопасности: приказ МЧС России от 1 апр. 2021 г. № 175. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».
4. Протокол заседания Комиссии по информационным технологиям и информационной безопасности МЧС России от 16 дек. 2021 г., п. VII. URL: <https://www.mchs.gov.ru/> (дата обращения: 10.08.2022).
5. Кванина В.В. Понятие и признаки научной школы // Вестник университета им. О.Е. Кутафина (МГЮА). 2016. № 11 (27). С. 37–42. EDN: YJGXAN. DOI: 10.17803/2311-5998.2016.27.11.037-042.
6. Становление и развитие научных школ в монопрофильном вузе / А.М. Кальяк [и др.] // Высшее образование в России. 2015. № 2. С. 97–105. EDN: TMGBWT.

7. Шапошник В.А. Научная школа: эволюция понятия // Ученые записки Казанского университета. Сер.: Естественные науки. 2018. Т. 160. № 3. С. 542–544.

8. Акишина Е.А., Мартишина Н.И. Научная школа: сущность, статус, возможности регулирования // Научный вестник Омской академии МВД России. 2019. № 3 (74). С. 74–79. EDN: ILNKPW. DOI: 10.24411/1999-625X-2019-13015.

9. НТИ «Энерджинет»: официальный сайт. URL: <https://energynet.ru/> (дата обращения: 10.08.2022).

### References

1. Darda E.S., Zabelin A.G. Lyuboe obrazovanie stanovitsya neaktual'nym uzhe cherez neskol'ko let. URL: <https://rg.ru/2021/10/05/liuboe-obrazovanie-stanovitsia-neaktualnym-uzhe-cherez-neskolko-let.html?ysclid=l839b0mw97359162630> (data obrashcheniya: 10.08.2022).

2. Ob organizatsii raboty komissii po informatsionnym tekhnologiyami i informatsionnoj bezopasnosti: Rasporyazheniyu zamestitelya Ministra MCHS Rossii ot 10 avg. 2021 g. № 672. Dostup iz sprav.-pravovogo portala «Garant».

3. O sozdanii komissii po informatsionnym tekhnologiyami i informatsionnoj bezopasnosti: prikaz MCHS Rossii ot 1 apr. 2021 g. № 175. Dostup iz sprav.-pravovogo portala «Garant».

4. Protokol zasedaniya Komissii po informatsionnym tekhnologiyam i informatsionnoj bezopasnosti MCHS Rossii ot 16 dek. 2021 g., p. VII. URL: <https://www.mchs.gov.ru/> (data obrashcheniya: 10.08.2022).

5. Kvanina V.V. Ponyatie i priznaki nauchnoj shkoly // Vestnik universiteta im. O.E. Kutafina (MGYUA). 2016. № 11 (27). S. 37–42. EDN: YJGXAH. DOI: 10.17803/2311-5998.2016.27.11.037-042.

6. Stanovlenie i razvitie nauchnyh shkol v monopofil'nom vuze / A.M. Kal'yak [i dr.] // Vysshee obrazovanie v Rossii. 2015. № 2. S. 97–105. EDN: TMGBWT.

7. Shaposhnik V.A. Nauchnaya shkola: evolyuciya ponyatiya // Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki. 2018. Т. 160. № 3. С. 542–544.

8. Akishina E.A., Martishina N.I. Nauchnaya shkola: sushchnost', status, vozmozhnosti regulirovaniya // Nauchnyj vestnik Omskoj akademii MVD Rossii. 2019. № 3 (74). S. 74–79. EDN: ILNKPW. DOI: 10.24411/1999-625X-2019-13015.

9. НТИ «Энерджинет»: официальный сайт. URL: <https://energynet.ru/> (дата обращения: 10.08.2022).

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 11.08.2022; одобрена после рецензирования: 23.09.2022;  
принята к публикации: 27.09.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 11.07.2022; approved after review: 23.09.2022;  
accepted for publication: 27.09.2022

*Сведения об авторах:*

**Михаил Викторович Буйневич**, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: [bmv1958@yandex.ru](mailto:bmv1958@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8146-0022>

**Александр Владимирович Матвеев**, заведующий кафедрой прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [fcvega\\_10@mail.ru](mailto:fcvega_10@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>

**Алексей Сергеевич Смирнов**, первый заместитель начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: [sas@igps.ru](mailto:sas@igps.ru)

*Information about authors:*

**Mikhail V. Buinevich**, professor of the department of applied mathematics and information technologies of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: [bmv1958@yandex.ru](mailto:bmv1958@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8146-0022>

**Alexander V. Matveev**, head of the department of applied mathematics and information technologies of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, professor, e-mail: [fcvega\\_10@mail.ru](mailto:fcvega_10@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>

**Alexey S. Smirnov**, First deputy head of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: [sas@igps.ru](mailto:sas@igps.ru)

---

---

# СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧС

---

---

УДК 614.847.79

## К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ УСТРОЙСТВ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ПОЖАРА

**Андрей Владимирович Калач**<sup>✉</sup>.

Воронежский институт ФСИН России, Воронеж, Россия.

**Александр Андреевич Капустин.**

Главное управление МЧС России по Ямало-Ненецкому автономному округу,  
Салехард, Россия.

**Марат Рамилович Шавалеев.**

Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия

<sup>✉</sup>[a\\_kalach@mail.ru](mailto:a_kalach@mail.ru)

*Аннотация.* Освещается вопрос модернизации современных устройств эвакуации людей из пожара, таких как выдвижная трёхколенная лестница, эластичный спасательный рукав, пневматическое прыжковое спасательное устройство и другие. Ключевым параметром осуществления спасения людей из пожаров является сокращение времени эвакуации граждан на объектах с массовым пребыванием людей. К объектам с массовым пребыванием людей относятся здания, в которых на небольшой площади сосредоточено большое количество граждан. Такими объектами являются: театры, кинотеатры, школы, выставки, учебные заведения, гипермаркеты и т.д. При пожаре в здании с массовым пребыванием людей возможен целый ряд обстоятельств, влияющих на развитие пожара и на боевые действия пожарных подразделений (паника людей, быстрое распространение огня по сгораемой отделке, обрушение подвесных конструкций, быстрое и плотное задымление помещений). Поэтому большое значение придается быстрой и грамотной эвакуации людей из зон опасных факторов пожара в безопасную среду. Для достижения уменьшения времени эвакуации предлагается применять устройство, которое отличается от других спасательных устройств скоростью эвакуации пострадавших в единицу времени. Данное устройство не имеет аналогов в мире, достаточно простая конструкция, удобное транспортирование любым транспортом кранного типа.

*Ключевые слова:* секция, устройство, эвакуация, пожарная безопасность, социальные объекты, время эвакуации

**Для цитирования:** Калач А.В., Капустин А.А., Шавалеев М.Р. К вопросу о совершенствовании устройств эвакуации людей из пожара // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 18–25.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

## TO THE QUESTION OF IMPROVEMENT OF DEVICES FOR EVACUATION OF PEOPLE FROM FIRE

Andrey V. Kalach✉.

Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia, Voronezh, Russia.

Alexander A. Kapustin.

The Main department of EMERCOM of Russia for the Yamalo-Nenets Autonomous District, Salekhard, Russia.

Marat R. Shavaleev.

Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia

✉a\_kalach@mail.ru

*Abstract.* This article highlights the issue of modernizing modern devices for evacuating people from a fire, such as a retractable three-legged ladder, an elastic rescue sleeve, a pneumatic jumping rescue device, and others. The key parameter for the rescue of people from fires is to reduce the time for the evacuation of citizens at facilities with a massive presence of people. Crowded buildings include buildings in which a large number of citizens are concentrated in a small area. Such objects are theaters, cinemas, schools, exhibitions, educational institutions, hypermarkets, etc. In the event of a fire in a building with a massive presence of people, a number of circumstances are possible that affect the development of a fire and the fighting of fire departments (panic of people, rapid spread of fire on combustible finishes, collapse of suspended structures, rapid and dense smoke in the premises). Therefore, great importance is attached to the rapid and competent evacuation of people from areas of fire hazards to a safe environment. To achieve a reduction in evacuation time, it is proposed to use a device that differs from other rescue devices in the speed of evacuation of victims per unit of time. This device has no analogues in the world, a fairly simple design, convenient transportation by any crane-type transport.

*Keywords:* section, device, evacuation, fire safety, social facilities, evacuation time

**For citation:** Kalach A.V., Kapustin A.A., Shavaleev M.R. To the question of improvement of devices for evacuation of people from fire // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 18–25.

### Введение

Пожары в зданиях и сооружениях, в которых могут одновременно находиться 50 и более человек (объект с массовым пребыванием людей), имеют широкий общественный резонанс [1]. К таким пожарам обращено внимание высших должностных лиц государства. Нередко данные пожары сопровождаются смертью большого количества людей и причинением значительного материального ущерба. Не менее печальный список – число погибших детей при пожаре в школах (табл. 1).

Таблица 1. Количество пострадавших детей при пожарах в школах [2–6]

Школа, дата пожара	Число пострадавших/погибших
Республика Чувашия, д. Эльбарусово, 05.11.1961 г.	124/110
Республика Саха (Якутия), п. Сыдыбал, 07.04.2003 г.	10/22
Республика Дагестан, г. Махачкала, 10.04.2003 г.	100/28
Москва, 30.05.2003 г.	2/1
Республика Саха (Якутия), п. Малькай, 30.01.2004 г.	9/1
Москва, 04.02.2005 г.	0/0
Москва, 07.02.2005 г.	0/1

Школа, дата пожара	Число пострадавших/погибших
Санкт-Петербург, 12.04.2005 г.	1/0
Москва, 18.12.2006 г.	8/0
Республика Саха (Якутия), с. Хадаар, 26.03.2007 г.	0/0
г. Ростов-на-Дону, 22.06.2007 г.	0/2
г. Пермь, 20.03.2008 г.	0/0
Республика Карелия, г. Петрозаводск, 01.04.2008 г.	0/0

В каждом случае число жертв исчисляется десятками и сотнями жизней. Причиной этому является низкая пожарная безопасность объектов защиты, а также устаревшие системы и установки предупреждения и тушения возгораний.

В связи с этими фактами проблема предупреждения, ликвидации и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций является актуальной. Кроме того, обеспечение требуемого уровня пожарной безопасности представляет собой одну из важнейших составляющих национальной безопасности страны. Среди очевидной проблемы обеспечения требуемого уровня пожарной безопасности, подлежащей разрешению, остается повышение эффективности действий подразделений пожарной охраны различных видов [7–9].

### Модели и методы исследования

При проведении исследования используются следующие теоретические методы: классификация, анализ, моделирование и аналогия.

Проблема эвакуации людей при пожарах из зданий различного функционального назначения стоит крайне остро, поэтому необходима разработка и совершенствование стратегии эвакуации людей из конкретного здания.

Зачастую доступные средства спасения представляют собой единственную возможность осуществления безопасной эвакуации людей из зоны пожара. В настоящее время решение этой проблемы возможно следующими путями.

Первый путь – создание специальных технических средств, функционирующих на внешних источниках энергии (автоподъемники, автолестницы (АЛ), фасадные лифты, специализированные мобильные спасательные системы и летательные аппараты).

Второй путь – создание специальных технических средств, функционирующих на принципе плавного снижения энергии падения массы груза с высоты (в настоящее время таковыми являются: канатно-спускные устройства, рукавные спасательные системы и амортизирующие прыжковые спасательные устройства) [10].

Для решения данных вопросов предлагается использовать секционное устройство эвакуации (СУЭ).

Устройство предназначено для спасения людей, которые находятся в местах массового пребывания граждан во время пожара.

Благодаря тому, что у СУЭ скорость спасения пострадавших в единицу времени больше, чем у стандартных устройств, тем самым можно эвакуировать большее количество людей из зоны пожара или задымления.

СУЭ (рис. 1) включает набор последовательных секций, каждая из которых представляет собой форму, близкую к воронке, с повернутым выходным отверстием под определенным углом. Исключение составляют головная (начальная) и замыкающая секции. В основании секции – металлический обруч (1). Для придания нужной формы и жесткости конструкции к основанию крепится плотная негорючая ткань (полотно). Основание и выходное отверстие соединяются растягивающимся элементом (3) (резиновым жгутом или металлической пружинной) для придания эластичности секции.

Диаметр приемного устройства должен составлять 1,2 м, а выходного 0,6 м. Так как средняя высота одного этажа типовых зданий составляет три метра, то высота одной секции предусмотрена 1,5 м, из расчета две секции на один этаж.

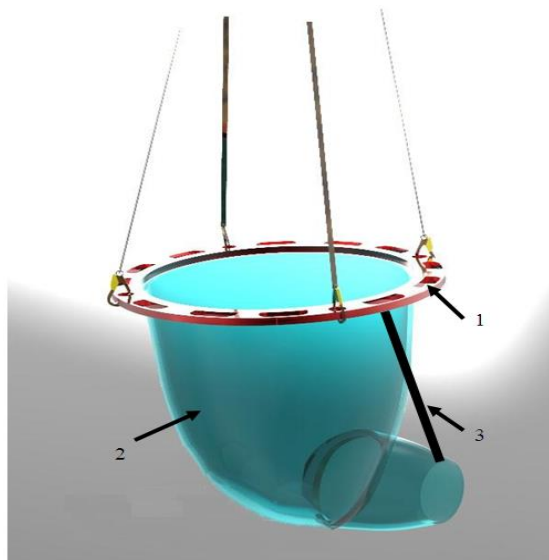


Рис. 1. Конструкция секций

На рис. 2 устройство выглядит в собранном виде. Секции (4) соединяются в четырех точках между собой с помощью веревок (5), оканчивающихся пожарными карабинами (6). При этом несущие элементы конструкции должны выдерживать нагрузку не менее 350 кг (из расчета пять эвакуируемых, каждый в среднем по 70 кг). Соединение должно быть таким, чтобы направление последующей секции было повернуто в противоположную сторону относительно предыдущей. Такое соединение уменьшает скорость движения человека в устройстве за счет постоянного изменения траектории движения, а также за счет возникновения силы трения об материал конструкции. Задача эвакуируемых – сгруппироваться и попасть в центральную часть головной секции.

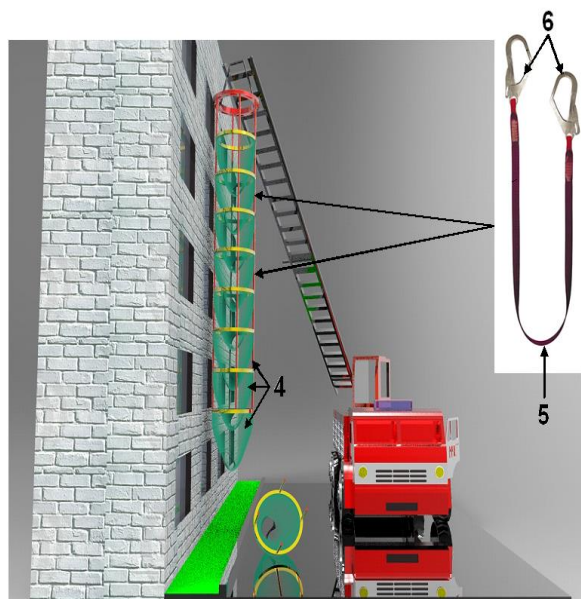


Рис. 2. СУЭ в сборе



Человек, попав в устройство (рис. 3), осуществляет движение с постоянно изменяющейся траекторией, при этом средняя скорость составляет 1,5–2 м/с по вертикали.

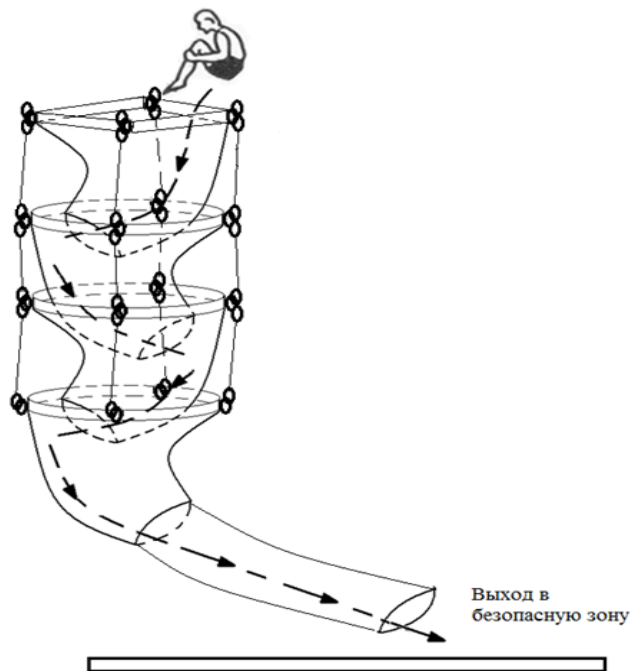


Рис. 3. Схема расположения секций и траектория движения человека в нем

Для более плотного прилегания к зданию головную (начальную) секцию СУЭ предлагается исполнить с квадратным основанием размерами рёбер 1,2 м (рис. 4 а). Замыкающая секция (рис. 4 б) представляет собой стандартную часть с присоединенным к выходному отверстию спасательным рукавом, длиной 4 м. Данный порядок необходим для минимизации скорости движения эвакуируемого в конечной точке устройства и корректировки места выхода человека в безопасную зону от пожара.

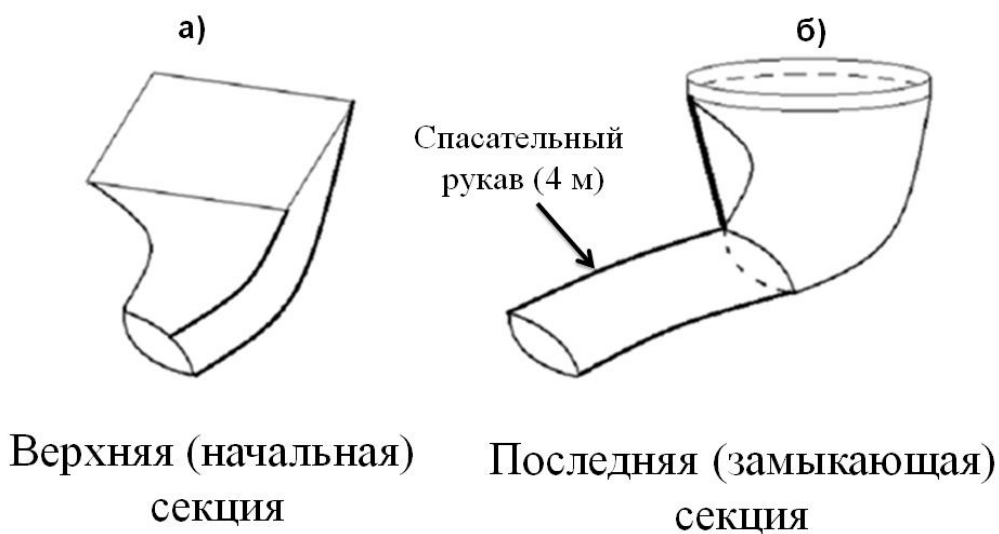


Рис. 4. Конструкция начальной (а) и замыкающей (б) секции СУЭ

Для приведения в рабочее состояние СУЭ предлагается использовать пожарную АЛ (коленчатый подъемник) или любой промышленный автокран.

Чтобы минимизировать раскачивание СУЭ при эвакуации пострадавших, замыкающую секцию будут удерживать пожарные в натянутом положении с помощью огнеупорной веревки, присоединённой карабинами к устройству, как показано на рис. 5.

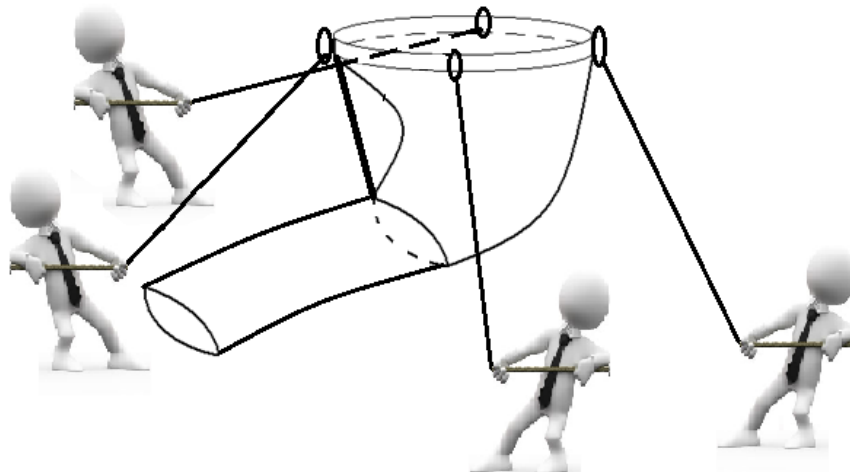


Рис. 5. Меры по уменьшению раскачивания секций

Разместить секционное устройство эвакуации предлагаем на пожарной АЛ (коленчатом подъемнике), находящейся на вооружении пожарно-спасательного подразделения. Между кабиной АЛ (АКП) (рис. 6) и подъемно-поворотным устройством необходимо установить жестяной короб, размерами 1,5х1,5 м для укладки и хранения СУЭ.

Чтобы привести устройство в рабочее состояние необходимо участие двух пожарных. Их задача – зацепить устройство с помощью пожарного карабина за лестницу и нарастить необходимое количество секций, в зависимости от этажа, на который нужно поднять устройство для эвакуации пострадавших.

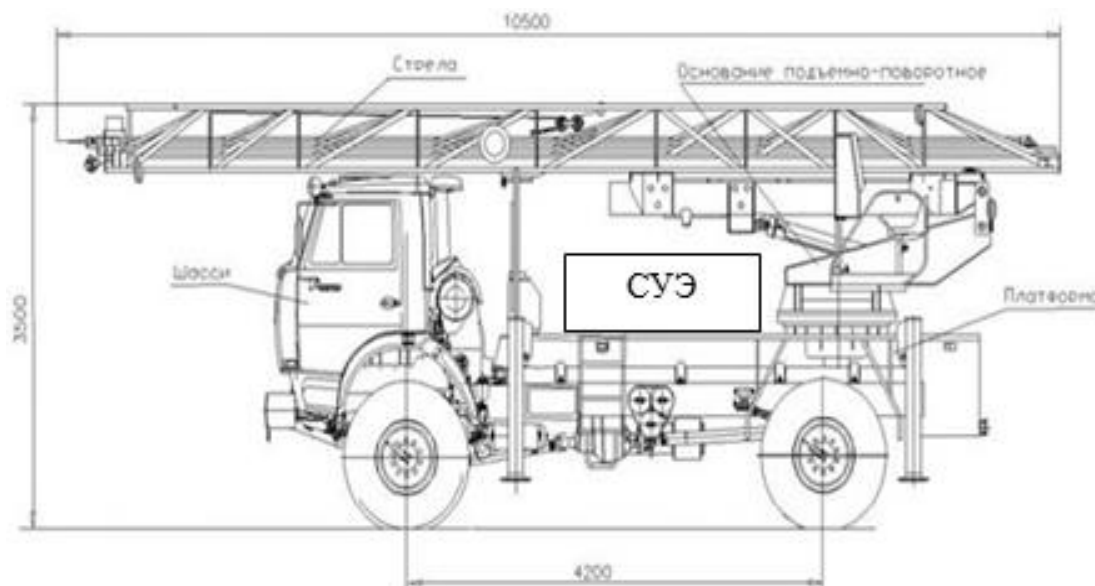


Рис. 6. Место расположения СУЭ на АЛ (или АКП)

## Результаты исследования и их обсуждение

Результаты данного исследования по внедрению секционного устройства эвакуации отобразим в табл. 2.

Таблица 2. Преимущества СУЭ

Преимущества использования СУЭ	Простота и удобство конструкции
	Не имеет аналогов в мире
	Высокая «пропускная способность» эвакуируемых
	Малогабаритность при транспортировке, легкая и быстрая установка
	Небольшая стоимость устройства
	Возможность установки устройства на любой технике кранного типа
	Минимальные требования к готовности эвакуируемых

## Заключение

Таким образом, при применении СУЭ для эвакуации пострадавших с объектов с массовым пребыванием людей уменьшается время проведения эвакуации пострадавших из зоны пожара, что, в свою очередь, предполагает уменьшение размеров очага пожара и для проведения аварийно-спасательных и других неотложных мероприятий необходимо задействовать меньшее количество личного состава пожарных подразделений.

## Список источников

1. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации: постановление Правительства Рос. Федерации от 16 сент. 2020 г. № 1479. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_363263/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363263/) (дата обращения: 14.07.2022).
2. Годовщина эльбарусовской трагедии. URL: <https://lenta.ru/articles/2021/11/05/elbarusovo/> (дата обращения: 14.07.2022).
3. Информационное агентство Sakhatime.ru. URL: <https://sakhatime.ru/incidents/32774/> (дата обращения: 14.07.2022).
4. Пожары и пожарная безопасность в 2018 г.: стат. сб. М., 2019. 125 с.
5. Пожары и пожарная безопасность в 2019 г.: стат. сб. М., 2020. 125 с.
6. Новости мира в режиме реального времени. URL: <https://www.newsru.com/russia/10apr2003/internat.html> (дата обращения: 14.07.2022).
7. Boyce K.E. Safe evacuation for all – Fact or Fantasy? Past experiences, current understanding and future challenges // Fire Safety Journal. 2017. V. 91. P. 28–40. URL: [//doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.004](http://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.004).
8. McConnell N.C., Boyce K.E. Refuge areas and vertical evacuation of multi-storey buildings: the end users perspectives // Fire Mater. 2015. 39. Issue 4. P. 396–406. DOI 10.1002/fam.2205.
9. Jonsson A., Anderson J., Nilsson D. A risk perception analysis of elevator evacuation in high-rise buildings // Proceedings of the Fifth Human Behaviour in Fire Symposium, Interscience Communication. 2012. P. 398–409.
10. Fireman.club. URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/sredstva-spaseniya-s-vyisoty-mobilnyie-spuskovyie-statsionarnyie/> (дата обращения: 14.07.2022).

## References

1. Ob utverzhdenii Pravil protivopozharnogo rezhima v Rossijskoj Federacii: postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 16 sent. 2020 g. № 1479. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_363263/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363263/) (data obrashcheniya: 14.07.2022).

2. Godovshchina el'barusovskoj tragedii. URL: <https://lenta.ru/articles/2021/11/05/elbarusovo/> (data obrashcheniya: 14.07.2022).
3. Informacionnoe agenstvo Sakhatime.ru. URL: <https://sakhatime.ru/incidents/32774/> (data obrashcheniya: 14.07.2022).
4. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2018 g.: stat. sb. M., 2019. 125 s.
5. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2019 g.: stat. sb. M., 2020. 125 s.
6. Novosti mira v rezhime real'nogo vremeni. URL: <https://www.newsru.com/russia/10apr2003/internat.html> (data obrashcheniya: 14.07.2022).
7. Boyce K.E. Safe evacuation for all – Fact or Fantasy? Past experiences, current understanding and future challenges // Fire Safety Journal. 2017. V. 91. P. 28–40. URL: [//doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.004](https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.004).
8. McConnell N.C., Boyce K.E. Refuge areas and vertical evacuation of multi-storey buildings: the end users perspectives // Fire Mater. 2015. 39. Issue 4. P. 396–406. DOI 10.1002/fam.2205.
9. Jonsson A., Anderson J., Nilsson D. A risk perception analysis of elevator evacuation in high-rise buildings // Proceedings of the Fifth Human Behaviour in Fire Symposium, Interscience Communication. 2012. P. 398–409.
10. Fireman.club. URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/sredstva-spaseniya-s-vyisoty-mobilnyie-spuskovyie-statsionarnyie/> (data obrashcheniya: 14.07.2022).

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 11.07.2022; одобрена после рецензирования: 19.07.2022; принята к публикации: 29.07.2022

**Information about the article:**

The article was submitted to the editorial office: 11.07.2022; approved after review: 19.07.2022; accepted for publication: 29.07.2022

*Информация об авторах:*

**Андрей Владимирович Калач**, начальник кафедры безопасности информации и защиты сведений, составляющих государственную тайну, Воронежского института ФСИН России (394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, д. 1-а), доктор химических наук, профессор, почетный работник сферы образования Российской Федерации, e-mail: [a\\_kalach@mail.ru](mailto:a_kalach@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>

**Александр Андреевич Капустин**, главный специалист отдела нормативно-технического управления надзорной деятельности и профилактической работы Главного управления МЧС России по Ямало-Ненецкому автономному округу (629002, ЯНАО, г. Салехард, ул. Республики, д. 28), e-mail: [alexkapustin96@mail.ru](mailto:alexkapustin96@mail.ru), тел.: 8-982-265-04-97

**Марат Рамилевич Шавалеев**, старший преподаватель кафедры пожаротушения и аварийно-спасательных работ (в составе УНК ПиПАСР) Уральского института ГПС МЧС России (620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22), кандидат химических наук, e-mail: [marat-shavaleev@mail.ru](mailto:marat-shavaleev@mail.ru)

*Information about authors:*

**Andrey V. Kalach**, head of the department of information security and protection of information constituting state secrets, Voronezh institute of the Federal Penitentiary Service of Russia (394072, Voronezh, Irkutskaya St., 1-a), doctor of chemical sciences, professor, honorary worker of education of the Russian Federation, e-mail: [a\\_kalach@mail.ru](mailto:a_kalach@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>

**Alexander A. Kapustin**, chief specialist of the department of regulatory and technical management of supervisory activities and preventive work of the Main directorate of EMERCOM of Russia for the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (629002, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, Salekhard, Respubliki St., 28), e-mail: [alexkapustin96@mail.ru](mailto:alexkapustin96@mail.ru), tel.: 8-982-265-04-97

**Marat R. Shavaleev**, senior lecturer of the department of fire fighting and rescue operations (as part of the UNC PiPASR) of the Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia (620062, Ekaterinburg, Mira St., 22), candidate of chemical sciences, e-mail: [marat-shavaleev@mail.ru](mailto:marat-shavaleev@mail.ru)

---

---

# БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

---

---

УДК 620.191.33

## АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РОСТА ПОПЕРЕЧНОЙ ТРЕЩИНЫ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ

**Александр Юрьевич Андриюшкин**✉;**Машхура Умаровна Рустамова.****Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,  
Санкт-Петербург, Россия.****Елена Николаевна Кадочникова.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**✉**Sascha1a@mail.ru**

*Аннотация.* Проведен анализ условий роста поперечной трещины защитного покрытия металлической конструкции. Поперечная трещина является концентратором напряжений и существенно снижает прочность защитного покрытия при его растяжении. Разрушенное защитное покрытие обуславливает быстрый переход металлической конструкции в неработоспособное состояние. Энергетический критерий А.А. Гриффитса описывает условие роста трещины. Распространение поперечной трещины вглубь защитного покрытия происходит при превышении энергии упругой деформации, поступающей в вершину трещины, над работой разрушения, требующейся для роста трещины. При равенстве удельной энергии упругой деформации и удельной работы разрушения глубина поперечной трещины соответствует критическому значению, при котором она распространяется и защитное покрытие разрушается. Проведена оценка влияния глубины поперечной трещины на величины удельной энергии упругой деформации и удельной работы разрушения для различных толщин защитного покрытия, подвергнутого растяжению. Критическая глубина поперечной трещины составляет 25 % от толщины защитного покрытия. Поперечные трещины, глубиной 40–60 % от критического значения, стабильны и не склонны к росту.

*Ключевые слова:* трещина, прочность, защитное покрытие, критерий роста трещины, дефектность

**Для цитирования:** Андриюшкин А.Ю., Рустамова М.У., Кадочникова Е.Н. Анализ условий роста поперечной трещины защитного покрытия металлической конструкции // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 26–33.

## ANALYSIS OF THE CONDITIONS FOR THE GROWTH OF A TRANSVERSE CRACK OF A PROTECTIVE COATING OF A METAL STRUCTURE

**Alexander Yu. Andryushkin**✉;**Mashhura U. Rustamova.****Baltic state technical university «VOENMEH» of D.F. Ystinov, Saint-Petersburg, Russia.****Elena N. Kadochnikova.****Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia**✉**Sascha1a@mail.ru**

*Abstract.* The article analyzes the conditions for the growth of a transverse crack of a protective coating of a metal structure. The transverse crack is a stress concentrator. It significantly reduces

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

the strength of the protective coating when it is stretched. The destroyed protective coating causes a rapid transition of the metal structure into an inoperable state. The A.A. Griffiths energy criterion describes the crack growth condition. The propagation of a transverse crack deep into the protective coating occurs when the elastic deformation energy entering the crack tip exceeds the destruction work required for crack growth. If the specific energy of elastic deformation and the specific work of destruction are equal, the depth of the transverse crack corresponds to the critical value at which it spreads and the protective coating is destroyed. The influence of the depth of the transverse crack on the values of the specific energy of elastic deformation and the specific work of destruction for different thicknesses of the protective coating subjected to stretching is estimated. The critical depth of the transverse crack is 25 % of the thickness of the protective coating. Transverse cracks with a depth of 40–60 % of the critical value are stable and not prone to growth.

*Keywords:* crack, strength, protective coating, crack growth criterion, defect

**For citation:** Andryushkin A.Yu., Rustamova M.U., Kadochnikova E.N. Analysis of conditions for the growth of a transverse crack of a protective coating of a metal structure // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 26–33.

## Введение

Долговечность металлической конструкции обеспечивается защитным покрытием (ЗП), которое в процессе эксплуатации подвергается механическим, температурным и химическим воздействиям. Работоспособность ЗП обусловлена его качеством, в частности дефектностью. При формировании ЗП образуются производственные дефекты, которые увеличиваются в размерах в процессе эксплуатации. При достижении дефектом критического размера ЗП разрушается и перестает выполнять свои функции. Неработоспособное ЗП существенно уменьшает долговечность металлической конструкции и приводит к возникновению аварийной ситуации.

Дефектность отрицательно влияет на прочность, которая является основным показателем качества ЗП. Нанесенное на поверхности металлической конструкции ЗП чаще всего испытывает внутренние (остаточные) напряжения растяжения и находится в плоско-деформированном состоянии (ПДС). Остаточные напряжения возникают из-за усадки ЗП при отверждении. Опасность дефектов заключается в концентрации напряжений в местах их расположения. Дефекты с малым радиусом кривизны при вершине (трещины, расслоения) повышают напряжения в несколько раз, по сравнению с напряжениями в бездефектном ЗП. Если напряжение достигнет критического значения, то дефект увеличивается в размерах, что может привести к разрушению ЗП. Характерным дефектом ЗП являются поперечные трещины, которые частично релаксируют напряжения растяжения. Поэтому задача анализа условий роста поперечных трещин ЗП металлической конструкции актуальна [1–7].

Целью исследования является выявление и анализ факторов, влияющих на величину критической глубины поперечной трещины при растяжении ЗП металлической конструкции.

Задачи исследования:

1. Анализ условий роста трещины ЗП.
2. Определение критической глубины поперечной трещины ЗП металлической конструкции.

## Анализ условий роста трещины ЗП

Концентрация напряжений у вершины трещины является необходимым, но не достаточным условием для ее роста и разрушения ЗП. Увеличение трещины в размерах происходит при подводе достаточной энергии к ее вершине [1–7].

На основе закона сохранения энергии А.А. Гриффитс предложил энергетический критерий роста трещины. Трещина увеличивается в размерах, когда уменьшение потенциальной энергии (энергии упругой деформации) будет больше или равно необходимой для разрушения материала работе, приходящейся на единицу площади, возникающей в результате этого свободной поверхности [2, 3]:

$$\delta U + \delta W = \delta U + G \cdot \delta F = 0, \quad (1)$$

где  $\delta U$  – уменьшение энергии упругой деформации, Дж;  $\delta W$  – работа разрушения, необходимая для образования новой поверхности трещины площадью  $\delta F$ , Дж;  $G$  – скорость высвобождения упругой энергии деформации или трещиновдвигущая сила, Дж/м<sup>2</sup>;  $\delta F$  – площадь, образованной новой поверхностью трещины, м<sup>2</sup>.

Из выражения (1) следует, если  $-\delta U \geq \delta W$ , то высвободившейся энергии достаточно для увеличения трещины и разрушения ЗП. Если  $-\delta U < \delta W$ , то высвободившейся энергии мало для развития трещины и ее размер остается прежним.

Таким образом, условие роста трещины: преобладание энергии упругой деформации, выделяющейся в вершине трещины, над работой разрушения.

### Определение критической глубины поперечной трещины ЗП металлической конструкции

Частичная релаксация внутренних растягивающих напряжений в ЗП происходит за счет роста поперечных трещин в его глубь. Поперечные трещины развиваются в местах расположения производственных дефектов из-за значительной концентрации напряжений. Рассмотрим поперечную трещину в подверженном растяжению ЗП, которое находится в ПДС (рис. 1).

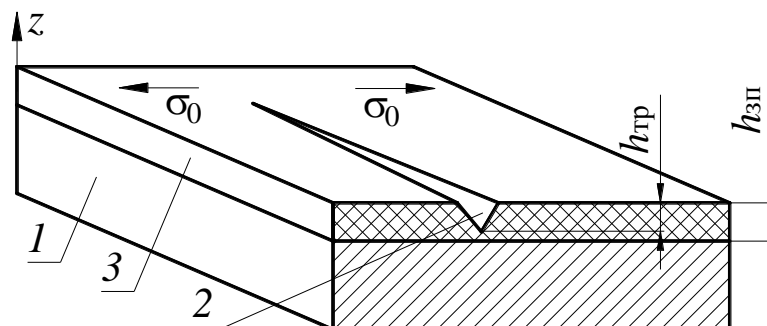


Рис. 1. Поперечная трещина ЗП металлической основы:  
 1 – металлическая основа; 2 – поперечная трещина; 3 – ЗП;  
 $h_{zp}$  – толщина защитного покрытия;  $h_{tr}$  – глубина трещины;  
 $\sigma_0$  – растягивающее напряжение в бездефектном ЗП;  
 $z$  – координата, перпендикулярная поверхности ЗП

Высвобожденная энергия упругой деформации  $U$  поступает в вершину поперечной трещины, где возникает концентрация напряжений и расходуется на увеличение ее размера, то есть на образование новой поверхности. Изменение энергии упругой деформации  $\delta U$  при распространении трещины с характерным размером  $h_{tr}$  на бесконечно малое расстояние  $\delta h_{tr}$  и является скоростью высвобождения упругой энергии деформации [2, 3, 8–11]:

$$G(h_{tr}) = \frac{\partial U(h_{tr})}{\partial h_{tr}},$$

где  $h_{tr}$  – глубина поперечной трещины ЗП, м.

Скорость высвобождения упругой энергии деформации в вершине поперечной трещины ЗП определяется по выражению [8–11]:

$$G(z) = 1,258 \cdot \pi \cdot \frac{\sigma_0^2 \cdot (1 - \mu_{зп}^2)}{E_{зп}} \cdot z, \quad (2)$$

где  $E_{зп}$  – модуль Юнга для ЗП, Па;  $\mu_{зп}$  – модуль Пуассона для ЗП;  $\sigma_0$  – растягивающие напряжения в бездефектном ЗП, Па;  $z$  – координата, перпендикулярная поверхности ЗП, м;  $\pi = 3,14$ .

Используя выражение (2), можно определить удельную энергию упругой деформации, выделяющуюся в вершине поперечной трещины ЗП:

$$W = \int_0^{h_{тр}} G(z) dz, \quad (3)$$

где  $W$  – удельная энергия упругой деформации, выделяющаяся в вершине поперечной трещины, то есть энергия на единицу ее длины, Дж/м.

Если при действующем в бездефектном ЗП растягивающем напряжении  $\sigma_0$  наблюдается увеличение глубины поперечной трещины  $h_{тр}$ , то такое критическое состояние характеризуется энергетическим критерием Гриффитса [8–11]:

$$G_{IC} = \frac{\sigma_0^2 \cdot h_{зп} \cdot (1 - \mu_{зп}^2)}{2 \cdot E_{зп}},$$

где  $G_{IC}$  – критическая скорость высвобождения упругой энергии деформации, Дж/м<sup>2</sup>;  $h_{зп}$  – толщина ЗП, м.

В критическом состоянии удельная работа разрушения, необходимая для роста поперечной трещины вглубь ЗП:

$$W_{кр} = h_{тр} \cdot G_{IC} = \frac{h_{тр} \cdot \sigma_0^2 \cdot h_{зп} \cdot (1 - \mu_{зп}^2)}{2 \cdot E_{зп}}, \quad (4)$$

где  $W_{кр}$  – удельная работа разрушения, необходимая для роста поперечной трещины, то есть работа на единицу ее длины, Дж/м.

Из сопоставления выражений (3) и (4) видно, что условием роста поперечной трещины вглубь ЗП является  $W \geq W_{кр}$ . Состояние ЗП с трещиной определяется характеристиками материала: модулем Юнга  $E_{зп}$  и модулем Пуассона  $\mu_{зп}$ ; действующим растягивающим напряжением  $\sigma_0$ ; толщиной ЗП  $h_{зп}$ ; глубиной поперечной трещины  $h_{тр}$ . Учитывая, что в конкретном случае  $E_{зп} = \text{const}$ ;  $\mu_{зп} = \text{const}$ ;  $\sigma_0 = \text{const}$ ;  $h_{зп} = \text{const}$ , то существует критическая глубина поперечной трещины  $h_{тр} = h_{тр\_кр}$ , при которой выполняется условие  $W = W_{кр}$ , то есть поперечная трещина будет увеличиваться вглубь ЗП.

Таким образом, для роста поперечной трещины ее глубина должна иметь критическое значение  $h_{тр\_кр}$ , при котором выполняется условие  $W = W_{кр}$  и ЗП разрушается.

Рассмотрим влияние глубины поперечной трещины на соотношение удельной энергии упругой деформации  $W$  и удельной работы разрушения  $W_{кр}$ , при различной толщине ЗП (рис. 2).



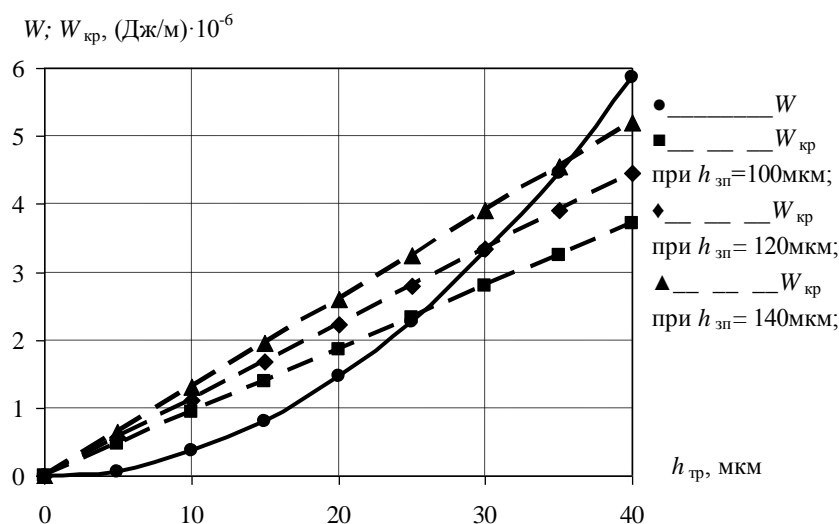


Рис. 2. Зависимость удельной энергии упругой деформации  $W$ , выделяющейся в вершине поперечной трещины, и удельной работы разрушения  $W_{кр}$ , требующейся для распространения поперечной трещины вглубь ЗП, от глубины поперечной трещины  $h_{тр}$  при различных толщинах ЗП  $h_{зп}$

Оценим влияние глубины поперечной трещины  $h_{тр}$  на величины удельной энергии упругой деформации  $W$  и удельной работы разрушения  $W_{кр}$  при растяжении ЗП (рис. 2) по выражениям (3) и (4) для различных толщин ЗП  $h_{зп} = 100; 120; 140$  мкм. Растягивающее напряжение в бездефектном ЗП  $\sigma_0 = 0,143$  МПа. Характеристика материала ЗП: модуль Юнга  $E_{зп} = 10$  МПа;  $\mu_{зп} = 0,3$ .

Анализ результатов расчета показывает (рис. 2), что с увеличением глубины трещины значение удельной энергии упругой деформации  $W$  и удельной работы разрушения  $W_{кр}$  возрастает. В местах пересечения графиков, где выполняется условие  $W = W_{кр}$ , значение глубины поперечной трещины является критическим  $h_{тр} = h_{тр\_кр}$ . Если  $h_{тр} < h_{тр\_кр}$ , то  $W < W_{кр}$  и трещина сохраняет прежние размеры. Если  $h_{тр} \geq h_{тр\_кр}$ , то  $W \geq W_{кр}$  и трещина растет вглубь ЗП.

С увеличением толщины ЗП величина удельной работы разрушения, требующейся для распространения поперечной трещины, увеличивается, следовательно, растет ее критическая глубина. При толщине ЗП  $h_{зп} = 100$  мкм критическая глубина поперечной трещины составляет  $h_{тр\_кр} = 25$  мкм; при  $h_{зп} = 120$  мкм –  $h_{тр\_кр} = 30$  мкм; при  $h_{зп} = 140$  мкм –  $h_{тр\_кр} = 35$  мкм. Отношение  $(h_{тр\_кр}/h_{зп}) = 0,25$  является постоянным для ЗП различной толщины и не зависит от величины растягивающего напряжения и свойств материала. Если глубина поперечной трещины равна или более 25 % толщины ЗП, то оно разрушается. Таким образом, критическая глубина поперечной трещины составляет  $h_{тр\_кр} = 0,25 \cdot h_{зп}$ .

Из анализа графиков следует, что глубина поперечной трещины не должна превышать значение  $h_{тр} \leq (0,4-0,6) \cdot h_{тр\_кр}$ , так как при этом разница между удельной работой разрушения и удельной энергией упругой деформации ( $W_{кр} - W$ ) максимальна и дальнейший рост трещины невозможен, ее форма и размеры стабильны (рис. 2).

Таким образом, определена критическая глубина поперечной трещины ЗП  $h_{тр\_кр} = 0,25 \cdot h_{зп}$ . Устойчивы к дальнейшему распространению поперечные трещины, имеющие глубину  $h_{тр} \leq (0,4-0,6) \cdot h_{тр\_кр}$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Обычно ЗП металлических конструкций испытывают растягивающие напряжения, при этом в местах нахождения производственных дефектов наблюдается концентрация напряжений.

Согласно энергетическому критерию А.А. Гриффитса, основным условием роста трещины и разрушения ЗП является превышение энергии упругой деформации, выделяющейся в вершине трещины, над работой разрушения, требующейся для распространения трещины.

Состояние ЗП с поперечной трещиной определяется характеристиками материала: модулем Юнга  $E_{зп}$  и модулем Пуассона  $\mu_{зп}$ ; действующим растягивающим напряжением  $\sigma_0$ ; толщиной ЗП  $h_{зп}$ ; глубиной поперечной трещины  $h_{тр}$ . Разрушение ЗП наступает вследствие распространения поперечной трещины, имеющей глубину, равную или превышающую критическое значение  $h_{тр\_кр}$ .

Рассмотрено влияние глубины поперечной трещины на соотношение удельной энергии упругой деформации  $W$  и удельной работы разрушения  $W_{кр}$ , при различной толщине ЗП. Показано, что критическая глубина поперечной трещины составляет 25 % толщины ЗП, ее значение не зависит от величины растягивающих напряжений и свойств материала. Поперечные трещины с глубиной  $h_{тр} \leq (0,4-0,6) \cdot h_{тр\_кр}$  не склонны к дальнейшему росту, то есть стабильны.

Цель исследования можно считать достигнутой – выявлены и проанализированы факторы, влияющие на величину критической глубины поперечной трещины при растяжении ЗП металлической конструкции.

### Выводы

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Преобладание энергии упругой деформации, выделяющейся в вершине трещины, над работой разрушения, требующейся для увеличения трещины в размерах, является условием роста трещины ЗП металлической конструкции.
2. При равенстве удельной энергии упругой деформации и работы разрушения глубина поперечной трещины имеет критическое значение, что обуславливает увеличение трещины в размерах и дальнейшее разрушение ЗП.
3. Определена критическая глубина поперечной трещины ЗП, которая составляет 25 % толщины ЗП.
4. Поперечные трещины, имеющие глубину, составляющую 40–60 % от критической глубины, наиболее стабильны.

### Список источников

1. Андрияшкин А.Ю. Применение сверхзвукового газодинамического напыления при многоструйной подаче газа для снижения вероятности отказа многослойных функциональных покрытий: монография. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т «ВОЕНМЕХ», 2021. 258 с.
2. Николаева Е.А. Основы механики разрушения. Пермь: Изд-во Пермского гос. техн. ун-та, 2010. 103 с.
3. Маркочев В.М., Алымов М.И. О теории хрупкого разрушения Я. Френкеля и А. Гриффитса // Чебышевский сборник. 2017. Т. 18. № 3 (63). С. 381–393.
4. Комарицина В.Н., Сухорукова Н.Н. Исследования механики деформаций и разрушений и некоторые вопросы обеспечения безопасности и надежности трубопроводов с учетом особенностей технологического процесса // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Т. 7. № 4. С. 116–119.
5. Механика разрушения неоднородно стареющих полимерных материалов / О.В. Старцев [и др.] // Доклады академии наук. 2018. Т. 483. № 5. С. 522–527.
6. Хутыз А.М., Шишова Р.Г. Механика разрушения и критерии трещиностойкости // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике. 2016. № 1 (7). С. 235–239.
7. Добровольский Д.С. Критерии трещиностойкости нелинейной механики разрушения элементов конструкций // Интеллектуальные системы в производстве. 2017. Т. 15. № 2. С. 23–26.

8. Freund L.B., Suresh S. *Thin Film Materials: Stress, Defect Formation and Surface Evolution*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 820 p.

9. Hsueh C.-H., Lee S., Lin H.-Y. Analyses of mode I edge delamination by thermal stresses in multilayer systems // *Composites B*. 2006. Vol. 37. P. 1–9.

10. Effect of graded interlayer on the mode I edge delamination by residual stresses in multilayer coating-based systems / X.C. Zhang [et al.] // *Applied Surface Science*. 2008. Vol. 254. Iss. 13. P. 1881–1889.

11. Yu H.H., He M.Y., Hutchinson J.W. Edge effects in thin film delamination // *Acta Mater*. 2001. Vol. 49. P. 93–107.

### References

1. Andryushkin A.Yu. *Primenenie sverhzhukovogo gazodinamicheskogo napyleniya pri mnogostrujnoj podache gaza dlya snizheniya veroyatnosti otказа mnogoslojnyh funkcional'nyh pokrytij: monografiya*. SPb.: Balt. gos. tekhn. un-t «VOENMEKH», 2021. 258 s.

2. Nikolaeva E.A. *Osnovy mekhaniki razrusheniya*. Perm': Izd-vo Permskogo gos. tekhn. un-ta, 2010. 103 s.

3. Markochev V.M., Alymov M.I. O teorii hrupkogo razrusheniya Ya. Frenkelya i A. Griffitsa // *Chebyshevskij sbornik*. 2017. T. 18. № 3 (63). S. 381–393.

4. Komaricina V.N., Suhorukova N.N. Issledovaniya mekhaniki deformacij i razrushenij i nekotorye voprosy obespecheniya bezopasnosti i nadezhnosti truboprovodov s uchetom osobennostej tekhnologicheskogo processa // *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov*. 2017. T. 7. № 4. S. 116–119.

5. *Mekhanika razrusheniya neodnorodno stareyushchih polimernyh materialov* / O.V. Starcev [i dr.] // *Doklady akademii nauk*. 2018. T. 483. № 5. S. 522–527.

6. Hutyž A.M., SHishova R.G. *Mekhanika razrusheniya i kriterii treshchinostojkosti* // *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij: ot teorii k praktike*. 2016. № 1 (7). S. 235–239.

7. Dobrovolskij D.S. Kriterii treshchinostojkosti nelinejnoj mekhaniki razrusheniya elementov konstrukcij // *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2017. T. 15. № 2. S. 23–26.

8. Freund L.B., Suresh S. *Thin Film Materials: Stress, Defect Formation and Surface Evolution*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 820 p.

9. Hsueh C.-H., Lee S., Lin H.-Y. Analyses of mode I edge delamination by thermal stresses in multilayer systems // *Composites B*. 2006. Vol. 37. P. 1–9.

10. Effect of graded interlayer on the mode I edge delamination by residual stresses in multilayer coating-based systems / X.C. Zhang [et al.] // *Applied Surface Science*. 2008. Vol. 254. Iss. 13. P. 1881–1889.

11. Yu H.H., He M.Y., Hutchinson J.W. Edge effects in thin film delamination // *Acta Mater*. 2001. Vol. 49. P. 93–107.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 20.06.2022; одобрена после рецензирования: 08.07.2022;  
принята к публикации: 11.07.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 20.06.2022; approved after review: 08.07.2022;  
accepted for publication: 11.07.2022

*Сведения об авторах:*

**Александр Юрьевич Андришкин**, заведующий кафедрой А2 «Технологии конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [Saschala@mail.ru](mailto:Saschala@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7812-069X>

**Машхура Умаровна Рустамова**, аспирант кафедры А2 «Технологии конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1), <https://orcid.org/0000-0002-2513-3809>

**Елена Николаевна Кадочникова**, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, <https://orcid.org/0000-0002-4577-390X>

*Information about the authors:*

**Alexander Yu. Andryushkin**, head of the A2 department «Technologies of structural materials and production of rocket and space technology» of the D.F. Ustinov Baltic state technical university «VOENMEH» (190005, Saint-Petersburg, 1st Krasnoarmeyskaya str., 1), candidate of technical sciences, associate professor, email: [Saschala@mail.ru](mailto:Saschala@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7812-069X>

**Mashkhura U. Rustamova**, post-graduate student of the A2 department «Technologies of structural materials and production of rocket and space technology» of the Baltic state technical university «VOENMEH» named after D.F. Ustinov (190005, Saint-Petersburg, 1st Krasnoarmeyskaya str., 1), <https://orcid.org/0000-0002-2513-3809>

**Elena N. Kadochnikova**, associate professor of the department of fire safety of technological processes and productions of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, <https://orcid.org/0000-0002-4577-390X>

УДК 614.845.1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА В ЗДАНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЛОЩАДИ ЗДАНИЯ

Алексей Павлович Меркулов;

Дмитрий Федорович Кожевин✉.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ [Yagmort\\_KDF@mail.ru](mailto:Yagmort_KDF@mail.ru)

*Аннотация.* Проанализирован метод определения частоты возникновения пожаров, применяемый в странах Европы и Соединенных Штатов Америки, а также используемый в пособии к методике по расчету пожарного риска на производственных объектах. В основе метода лежит предположение зависимости частоты возникновения пожаров от площади рассматриваемого здания.

Обоснована возможность применения этого метода для зданий различных классов функциональной пожарной опасности. Определены способы нахождения статистических коэффициентов, необходимых для расчета частоты возникновения пожаров. Сформирован и обоснован перечень минимальных исходных данных, необходимых для проведения расчета статистических коэффициентов. Предложено внесение изменения в методику по расчету пожарного риска в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности на основе применения предложенного метода.

*Ключевые слова:* пожарный риск, вероятность возникновения пожара, количество пожаров, нормативно-правовые акты, статистические данные

**Для цитирования:** Меркулов А.П., Кожевин Д.Ф. Определение частоты возникновения пожара в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности в зависимости от площади здания // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 34–41.

## DETERMINATION OF THE FREQUENCY OF FIRE IN BUILDINGS OF DIFFERENT CLASSES OF FUNCTIONAL FIRE HAZARD DEPENDING ON THE AREA OF THE BUILDING

Alexey P. Merkulov;

Dmitry F. Kozhevnikov✉.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ [Yagmort\\_KDF@mail.ru](mailto:Yagmort_KDF@mail.ru)

*Abstract.* The method for determining the frequency of fire occurrence, used in Europe and the United States of America, as well as used in the manual for the methodology for calculating fire risk at production facilities, is analyzed. The method is based on the assumption that the frequency of fire occurrence depends on the area of the building under consideration.

The possibility of using this method for buildings of various classes of functional fire hazard is substantiated. Methods for finding the statistical coefficients necessary for calculating the frequency of fires are determined. A list of minimum initial data necessary for the calculation of statistical coefficients has been formed and justified. It is proposed to amend the methodology for calculating the fire risk in buildings of various classes of functional fire hazard based on the application of the proposed method.

*Keywords:* fire risk, fire probability, number of fires, legal acts, statistical data

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

**For citation:** Merkulov A.P., Kogevin D.F. Determining the frequency of fire occurrence in buildings of various classes of functional fire hazard depending on the area of the building // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. S. 34–41.

## Введение

Обеспечение пожарной безопасности объекта защиты в соответствии со ст. 6 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1] допускается обосновывать расчетом величины пожарного риска. Методология этого расчета сформировалась относительно давно и фактически состоит из трех основных блоков:

- расчет времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара (ОФП);
- определения расчетного времени эвакуации людей из помещений и зданий;
- определение частоты воздействия ОФП на человека, находящегося в здании.

По первым двум блокам существует ряд программных комплексов, которые с достаточно высокой точностью моделируют образование ОФП и движение людских потоков в зданиях. Третий блок в расчете при своей внешней простоте и логичности имеет достаточно много «подводных камней», связанных с определением вероятностных характеристик, в том числе частоты возникновения пожара.

Целью работы является адаптация метода определения частоты возникновения пожара, применяемая при расчетах пожарного риска в производственных зданиях, для зданий различных классов функциональной пожарной опасности.

## Метод определения частоты возникновения пожаров

Частота возникновения пожара является важнейшим параметром при определении величины пожарного риска, используемого в Российской Федерации для обоснования обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений [1]. Авторами была обозначена проблема отсутствия в настоящее время методики определения частоты возникновения пожара [2]. В той же статье предложен и обоснован метод определения частоты возникновения пожара, исходя из статистических данных о пожарах в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности. Перспективным авторам видится метод определения частоты возникновения пожаров исходя из площади рассматриваемого здания, аналогично методике [3] и данных зарубежного опыта [4–6]. Но для применения предложенной методики необходима корректировка статистических коэффициентов, учитываемых в ней.

Вероятность возникновения пожара в соответствии с этой методикой определяется по зависимости:

$$P_i = a \cdot A^b, \text{ год}^{-1},$$

где  $a$  – отношение числа пожаров в однотипных зданиях ( $N_{\text{пожаров}}$ ) к числу зданий в рассматриваемой группе зданий ( $N_{\text{зданий}}$ ) за период  $T$ ;  $b$  – общее количество пожаров, деленное на максимальную площадь здания, ед./м<sup>2</sup>;  $A$  – площадь, рассматриваемого здания, м<sup>2</sup>.

При выводе этой формулы был проведен экономический анализ в части страховых выплат при пожарах [7, 8], которые коррелировались с площадью страхуемого здания. Коэффициенты  $a$  и  $b$  определены из данных статистики о пожарах в зданиях, расположенных в Европе в середине XX в.

Смысл коэффициента  $a$  принципиально понятен, он следует из зависимости:

$$a = P_i = \frac{N_{\text{пожаров}}}{T \cdot N_{\text{зданий}}}, \text{ год}^{-1}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{пожаров}}$  – количество пожаров в однотипных зданиях, ед.;  $N_{\text{зданий}}$  – количество зданий в рассматриваемой группе зданий (сооружений) за период, ед.;  $T$  – период, год.

Причем исходные данные для определения коэффициента  $a$  возможно определить по статистике о пожарах, ведущейся в каждом территориальном органе МЧС России. В подтверждение этому в статье [2] было определено значение величины частоты пожаров (на один объект), которое, исходя из физического смысла, численно должно быть равно коэффициенту  $a$ .

При исследовании возник вопрос, почему полученную фактическую частоту возникновения пожара, определенную по формуле (1) в предлагаемой методике, умножают на площадь объекта в степени  $b$ ? Результат заведомо увеличивается на несколько порядков. Для ответа на заданный вопрос была проанализирована предложенная методика [3, 4] с точки зрения теории вероятности [9].

Частота возникновения пожара в здании определенного типа, в зависимости от площади, может быть определена по формуле:

$$P_s = \frac{S_{\text{пожара}}}{T \cdot F_{\text{зданий}}}, \text{ год}^{-1}, \quad (2)$$

где  $S_{\text{пожара}}$  – общая площадь однотипных зданий, в которых произошел пожар,  $\text{м}^2$ ;  $F_{\text{зданий}}$  – общая площадь однотипных зданий,  $\text{м}^2$ .

Общую площадь возможно представить через произведение количества объектов на их среднюю площадь, тогда формула (2) будет иметь вид:

$$P_s = \frac{(N_{\text{пожаров}} \cdot S_{\text{пожара средняя}})}{T \cdot (N_{\text{зданий}} \cdot F_{\text{зданий средняя}})} = \frac{N_{\text{пожаров}}}{T \cdot N_{\text{зданий}} \cdot F_{\text{зданий средняя}}} \cdot S_{\text{пожара средняя}}, \text{ год}^{-1}. \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что коэффициент  $a$  численно не равен частоте возникновения пожара ( $P_i$ ), а отличается в  $F_{\text{зданий средняя}}$  раз. В пособии [3] и в зарубежной литературе [4–8] учет значения средней площади указан в примечании, что формула справедлива для объектов площадью более 1 000  $\text{м}^2$ . Для объективного расчета необходимо указывать фактическую среднюю площадь в рассматриваемой группе зданий.

Из полученной формулы (3) видна физическая суть коэффициента  $a$ , но средняя площадь однотипных зданий, в которых произошел пожар ( $S_{\text{пожара средняя}}$ ), находится в первой степени, и физический смысл коэффициента  $b$  не определен. Показатель степени для каждого типа зданий индивидуальный им является коэффициент  $b$ .

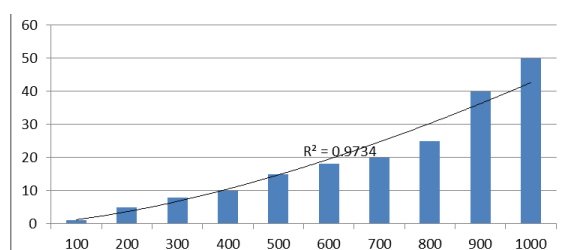
$$P_s = \frac{N_{\text{пожаров}}}{T \cdot N_{\text{зданий}} \cdot F_{\text{зданий средняя}}} \cdot S_{\text{пожара средняя}}^b, \text{ год}^{-1}. \quad (4)$$

Статистические данные [10–12] подтверждают, что количество пожаров в зданиях, в зависимости от их площади, возрастает не линейно, а по степенной функции. По статистике пожаров [13, 14] для однотипных зданий был проведен анализ зависимости количества пожаров от площади этих зданий. Статистические данные, в обобщенном виде сведенные по группам площадей, приведены в табл. 1.

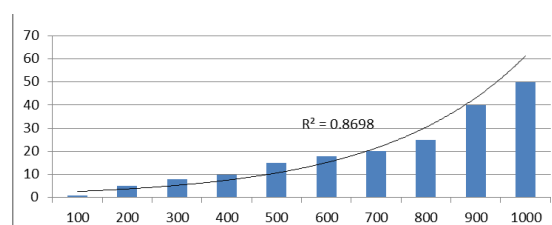
По данным табл. 1 построены графики (рис. 1), и на них указаны линии тренда с коэффициентом корреляции  $R^2$ .

Таблица 1. Сгруппированные статистические данные о пожарах

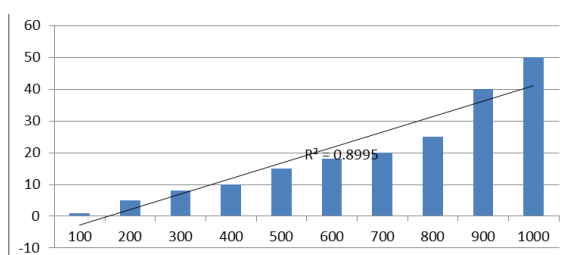
Диапазон площадей, м <sup>2</sup>	Реперное значение площади, м <sup>2</sup>	Количество пожаров, ед.
<100	100	1
100–200	200	5
200–300	300	8
300–400	400	10
400–500	500	15
500–600	600	18
600–700	700	20
700–800	800	25
800–900	900	40
900–1000	1000	50



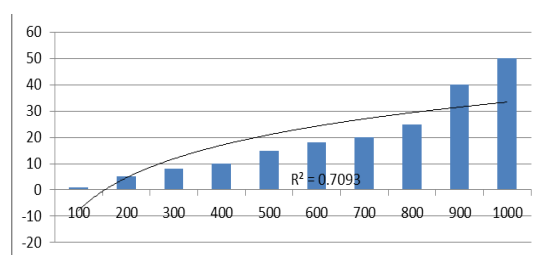
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Графики зависимости количества пожаров от площади здания с аппроксимацией по функциям различного типа:  
а) степенная функция; б) экспоненциальная; в) линейная; г) логарифмическая

Из данных рис. 1 видно, что из четырех аппроксимационных функций коэффициент корреляции ( $R^2=0,97$ ) максимален именно у степенной функции. В программе Mathcad, по данным табл. 1, был определен коэффициент  $b$  для степенной функции (копия файла Mathcad приведена на рис. 2).

В иностранных нормативных документах [4, 5] значения коэффициентов определены для различных производственных зданий, те же численные значения коэффициентов  $a$  и  $b$  «переключали» без корректировки и в пособие [3].



$$\text{data} := \begin{pmatrix} 100 & 1 \\ 200 & 5 \\ 300 & 8 \\ 400 & 10 \\ 500 & 15 \\ 600 & 18 \\ 700 & 20 \\ 800 & 25 \\ 900 & 40 \\ 1000 & 50 \end{pmatrix}$$

$$X := \text{data}^{(0)}$$

$$Y := \text{data}^{(1)}$$

$$fg = x^b$$

$$fg(n,b) := n^b$$

$$Gg := 1$$

$$cg := \text{genfit}(X, Y, Gg, fg) = 0.496$$
Рис. 2. Вычисление коэффициента  $b$  для массива данных

Из вышеизложенного следует:

- применение методики расчета частоты возникновения пожара, в зависимости от площади, справедливо не только для производственных зданий, но и для зданий различных классов функциональной пожарной опасности;
- для использования этой методики необходима корректировка коэффициентов  $a$  и  $b$ ;
- необходимо разработать метод определения коэффициентов  $a$  и  $b$ , на основе статистических данных.

### Основы методики определения коэффициентов $a$ и $b$

С учетом того, что площадь зданий, в которых произошел пожар, является частью (то есть выборкой) всех однотипных зданий, то в соответствии с теорией статистики [15, 16] среднее значение из выборки будет репрезентативно для среднего значения всего массива. То есть в формуле (4)  $S_{\text{пожара средняя}} = F_{\text{зданий средняя}}$ , и вводя в нее коэффициент  $b$ , формула обретает вид:

$$P_s = \frac{N_{\text{пожаров}}}{T \cdot N_{\text{зданий}}} \cdot S_{\text{пожара средняя}}^{b-1}, \text{ год}^{-1}.$$

Необходимость ввода в формулу коэффициента  $a$  исчезает, этот коэффициент заменен на принципиально понятное значение частоты возникновения пожара в единичном однотипном здании. Обоснованные данные по этой величине для Санкт-Петербурга приведены в статье [2].

Перечень исходных данных для расчета величины частоты возникновения пожаров приведен в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что перечень исходных данных, который необходим для объективного расчета величины частоты возникновения пожаров для зданий различных классов функциональной пожарной опасности, состоит всего из трех пунктов, причем данные первого и второго пунктов перечня заносятся в карточку статучета пожаров в каждом территориальном управлении МЧС России по региону и систематизируются Всероссийским ордена «Знак Почёта» научно-исследовательским институтом противопожарной обороны (ВНИИПО) МЧС России.

Таблица 2. Перечень исходных данных для расчета величины частоты возникновения пожаров

№ п/п	Наименование показателя	Необходимость использования
1	Количество однотипных зданий на заданный период в регионе или стране в целом	Для определения значения частоты возникновения пожара в единичном однотипном здании по формуле (1)
2	Количество пожаров в рассматриваемых однотипных зданиях на заданный период в регионе или стране в целом	
3	Распределение количества пожаров в рассматриваемых однотипных зданиях по площадям этих зданий на заданный период в регионе или стране в целом	После группировки значений по алгоритму, приведенному на рис. 2, определяется коэффициент $b$

Распределение пожаров по площадям зданий на данный момент не регистрируется, что вызывает трудности в определении коэффициента  $b$ . Но для большинства объектов разработаны документы предварительного планирования, в которых указана площадь здания, поэтому данную трудность при необходимости возможно преодолеть.

### Заключение

Предложенная методика позволяет адаптировать способ определения частоты возникновения пожаров в производственных зданиях [3, 4] для зданий различных классов функциональной пожарной опасности. В статье обосновано, что используемые в работах [3, 4] коэффициенты не являются константами, а зависят от ежегодно изменяющегося количества пожаров и требуют ежегодного пересмотра и корректировки. Внести изменения в п. 8 Приложения к приказу МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности» и Приложения к приказу МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» [17, 18] с возможностью в качестве статистических данных использовать анализ статистики, ежегодно публикуемой ВНИИПО МЧС России.

### Список источников

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».
2. Меркулов А.П., Кожевин Д.Ф. К вопросу определения частоты возникновения пожара в зданиях различных классах функциональной пожарной опасности // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 34–41.
3. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. М.: ВНИИПО, 2019. 242 с.
4. PD 7974-7:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Probabilistic risk assessment.
5. Мейнс М., Раш Д. Критическая оценка данных о структурном реагировании на пожар в соответствии со стандартом BS PD 7974-7, основанная на статистике пожаров США // Пожарная техника. 2019. 55. Р. 1243–1293 <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0775-2>.
6. Manes Martina & Rush David. (2020). Assessing fire frequency and structural fire behaviour of England statistics according to BS PD 7974-7 // Fire Safety Journal. 120. 103030. [10.1016/j.firesaf.2020.103030](https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103030).
7. D'Addario R (1940). Considerazioni sul tasso di premio delle assicurazioni incendi. Bari.
8. Rutstein R (1979). The probability of fire in different sectors of industry.pdf. // Fire Surv. 1979. № 8 (1). Р. 20–23.

9. Справочник по исследованию операций / под общ. ред. Ф.А. Матвейчука. М.: Воениздат, 1979. 368 с.
10. Manes Martina & Rush David. (2019). Probabilistic fire risk assessment in buildings using event tree analysis based on UK and USA fire statistics.
11. Fire Load Density Distribution in School Buildings and Statistical Modelling / A. Barnett [et al.] // *Fire Technol.* 2022. 58. P. 503–521. <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01150-w>.
12. Meacham B.J., van Straalen I.J. (2018). A socio-technical system framework for risk-informed performance-based building regulation // *Build Res Inf* 46(4):444–462.
13. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году: стат. сб. / П.В. Полехин [и др.]; под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2020. 80 с.
14. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: стат. сб. / П.В. Полехин [и др.]; под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2021. 112 с.
15. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов. 6-е изд. стер. М.: Высш. шк., 1999. 576 с.
16. Самойленко Н.И., Кузнецов А.И., Костенко А.Б. Теория вероятностей: учеб. Х.: Изд-во «НТМТ», ХНАГХ, 2009. 200 с.
17. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности: Приложение к приказу МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».
18. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: Приложение к приказу МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».

## References

1. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ. Dostup iz sprav.-pravovogo portala «Garant».
2. Merkulov A.P., Kozhevin D.F. K voprosu opredeleniya chastoty vozniknoveniya pozhara v zdaniyah razlichnyh klassah funkcional'noj pozharnoj opasnosti // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere.* 2022. № 2 (62). S. 34–41.
3. Posobie po opredeleniyu raschetnyh velichin pozharnogo riska dlya proizvodstvennyh ob"ektov. М.: ВНИИПО, 2019. 242 с.
4. PD 7974-7:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Probabilistic risk assessment.
5. Mejns M., Rash D. Kriticheskaya ocenka dannyh o strukturnom reagirovanii na pozhar v sootvetstvii so standartom BS PD 7974-7, osnovannaya na statistike pozharov SSHA // *Pozharnaya tekhnika.* 2019. 55. R. 1243–1293 <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0775-2>.
6. Manes Martina & Rush David. (2020). Assessing fire frequency and structural fire behaviour of England statistics according to BS PD 7974-7 // *Fire Safety Journal.* 120. 103030. [10.1016/j.firesaf.2020.103030](https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103030).
7. D'Addario R (1940). Considerazioni sul tasso di premio delle assicurazioni incendi. Bari.
8. Rutstein R (1979). The probability of fire in different sectors of industry.pdf. // *Fire Surv.* 1979. № 8 (1). R. 20–23.
9. Spravochnik po issledovaniyu operacij / pod obshch. red. F.A. Matvejchuka. М.: Voениzdat, 1979. 368 с.
10. Manes Martina & Rush David. (2019). Probabilistic fire risk assessment in buildings using event tree analysis based on UK and USA fire statistics.
11. Fire Load Density Distribution in School Buildings and Statistical Modelling / A. Barnett [et al.] // *Fire Technol.* 2022. 58. R. 503–521. <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01150-w>.
12. Meacham BJ, van Straalen IJ (2018). A socio-technical system framework for risk-informed performance-based building regulation // *Build Res Inf* 46(4):444–462.

13. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2019 godu: stat. sb. / P.V. Polekhin [i dr.]; pod obshch. red. D.M. Gordienko. M.: VNIPO, 2020. 80 s.

14. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2020 godu: stat. sb. / P.V. Polekhin [i dr.]; pod obshch. red. D.M. Gordienko. M.: VNIPO, 2021. 112 s.

15. Ventcel' E.S. Teoriya veroyatnostej: ucheb. dlya vuzov. 6-e izd. ster. M.: Vyssh. shk., 1999. 576 s.

16. Samojlenko N.I., Kuznecov A.I., Kostenko A.B. Teoriya veroyatnostej: ucheb. H.: Izd-vo «NTMT», HNAGH, 2009. 200 s.

17. Metodika opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska v zdaniyah, sooruzheniyah i pozharnyh otsekah razlichnyh klassov funkcional'noj pozharnoj opasnosti: Prilozhenie k prikazu MCHS Rossii ot 30 iyunya 2009 g. № 382. Dostup iz sprav.-pravovogo portala «Garant».

18. Metodika opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah: Prilozhenie k prikazu MCHS Rossii ot 10 iyulya 2009 g. № 404. Dostup iz sprav.-pravovogo portala «Garant».

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 27.04.2022; одобрена после рецензирования: 08.07.2022; принята к публикации: 12.07.2022

#### **Information about the article:**

The article was submitted to the editorial office: 27.04.2022; approved after review: 08.07.2022; accepted for publication: 12.07.2022

#### *Информация об авторах:*

**Алексей Павлович Меркулов**, начальник управления по Калининскому району Главного управления МЧС России по г. Санкт-Петербургу, магистр кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149)

**Дмитрий Федорович Кожевин**, начальник кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: Yagmort\_KDF@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6418-107X>

#### *Information about authors:*

**Alexey P. Merkulov**, head of the department for the Kalininsky district of the Main directorate of the Ministry of emergency situations of Russia for Saint-Petersburg, master of the department of criminalistics and engineering and technical expertise Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovskiy ave., 149)

**Dmitry F. Kozhevnikov**, chief of the physical and chemical bases of the burning and extinguishing processes department Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovskiy av., 149), candidate of technical sciences, e-mail address: Yagmort\_KDF@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6418-107X>

---

---

# ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

---

---

УДК 614.841.413

## ДЕФЛАГРАЦИОННОЕ ГОРЕНИЕ (ВЗРЫВЫ) ТОПЛИВНО-ГАЗОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ – НОВАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТОВ

Артур Александрович Тумановский✉;

Татьяна Дмитриевна Теплякова;

Илья Данилович Чешко.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉[ficentre@igps.ru](mailto:ficentre@igps.ru)

*Аннотация.* Экспертное исследование объёмных взрывов, обусловленных дефлаграционным горением топливно-воздушных смесей, находится в компетенции пожарно-технических экспертов и относится к числу наиболее сложных и требующих специальных познаний.

В статье излагаются сведения о новой экспертной специализации «Дефлаграционное горение (взрывы) топливно-газовоздушных смесей» по специальности «Судебная пожарно-техническая экспертиза». Описаны этапы обучения по данной специализации и их содержание.

Основой для разработки курса обучения по указанной специализации послужило ранее подготовленное методическое пособие по определению природы горючего компонента при взрывах топливно-воздушных смесей, а также пособие по применению расчетных методов в экспертном исследовании горения и взрыва топливно-воздушных смесей.

Подготовленные методические материалы рекомендуется применять при исследовании пожаров и взрывов, вызванных с дефлаграционным горением (взрывом) топливно-воздушных смесей в судебно-экспертных учреждениях МЧС России и других ведомствах.

*Ключевые слова:* судебная экспертиза, судебно-экспертные учреждения, топливно-воздушные смеси, пожарно-технические расчеты, взрыв газа

**Для цитирования:** Тумановский А.А., Теплякова Т.Д., Чешко И.Д. Дефлаграционное горение (взрывы) топливно-газовоздушных смесей – новая специализация пожарно-технических экспертов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 42–49.

## DEFLAGRATION COMBUSTION (EXPLOSIONS) OF FUEL-GAS-AIR MIXTURES – A NEW SPECIALIZATION OF FIRE-TECHNICAL EXPERTS

Artur A. Tumanovsky✉;

Tatyana D. Teplyakova;

Ilya D. Cheshko.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,

Saint-Petersburg, Russia

✉[ficentre@igps.ru](mailto:ficentre@igps.ru)

*Abstract.* An expert study of volumetric explosions caused by the deflagration combustion of air-fuel mixtures is the responsibility of fire-technical experts and is one of the most complex and requires special knowledge.

The article provides information about the new expert specialization «Deflagration mountain (explosions) of fuel-gas-air mixtures» in the specialty «Forensic fire-technical expertise». The stages of training in this specialization and their content are described.

The basis for the development of a training course in this specialization was a previously prepared methodological manual for determining the nature of the combustible component in explosions of fuel-air mixtures, as well as a manual for the application of computational methods in an expert study of combustion and explosion of fuel-air mixtures.

The prepared methodological materials are recommended for use in the study of fires and explosions caused by deflagration combustion (explosion) of fuel-air mixtures in forensic institutions of EMERCOM of Russia and other departments.

*Keywords:* forensic expertise, forensic expert institutions, fuel and air mixtures, fire technical calculations, gas explosion

**For citation:** Tumanovsky A.A., Teplyakova T.D., Cheshko I.D. Deflagration combustion (explosions) of fuel-gas-air mixtures – a new specialization of fire-technical experts // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. S. 42–49.

### Введение

Объёмные взрывы топливо-воздушных смесей (ТВС) представляют серьёзную опасность, связанную с возможным значительным материальным ущербом и человеческими жертвами [1]. Подобные взрывы приводят к тяжёлым последствиям. В расследовании уголовных дел по таким пожарам участвуют пожарно-технические эксперты судебно-экспертных учреждений (СЭУ) федеральной противопожарной службы (ФПС) МЧС России.

Пожары и сопряженные с пожарами взрывы топливо-воздушных (газо-воздушных, паро-воздушных, пыле-воздушных) смесей и жидкостных аэрозолей довольно многочисленны.

В стране имеется опыт экспертных исследований крупных техногенных пожаров и взрывов газо-паровоздушных смесей [1–5]. В этом безусловная заслуга И.С. Таубкина и возглавляемого им отдела взрывотехнологических экспертиз Российского федерального центра судебной экспертизы [4].

Нельзя не отметить научные разработки в этой области и серии соответствующих монографий профессора Б.Е. Гельфанда [5–9]. Однако ежегодно в стране, наряду с крупными, происходят сотни относительно мелких инцидентов, связанных с утечкой горючих газов и паров на производстве и в быту, их распространением в атмосфере, диффузии в грунте, иногда на расстоянии в сотни метров. Часто они связаны с человеческими жертвами, серьёзными материальными потерями, имеют, как принято говорить, «судебную перспективу» и потому нуждаются в достойном экспертном

сопровождении. Его должны обеспечить соответствующим образом подготовленные эксперты СЭУ ФПС МЧС России.

Кроме крупных инцидентов, которые «на слуху» по причине масштабных разрушений и человеческих жертв, часто многочисленные вспышки и взрывы происходят при разливе органических растворителей в ограниченном объеме помещений, проведении окрасочных работ, изготовлении подвесных потолков в жилых и общественных зданиях. Крайне негативную роль сыграла замена фреонов сжатой смесью пропан-бутана в качестве газавытеснителя в аэрозольных баллончиках различного назначения.

Экспертиза пожаров (взрывов), связанных с дефлаграционным горением ТВС, относится к компетенции пожарно-технических экспертов. Это часто приходится доказывать сотрудникам правоохранительных органов, полагающим, что любой взрыв, по определению, находится в компетенции экспертов-взрывотехников. В результате при работе на месте взрыва упускаются важные улики и прочая информация. Ситуация потребовала исправления и для этого в качестве одной из первоочередных мер была проведена адаптация известных аналитических и расчетных методик, а также имеющихся в СЭУ ФПС испытательных пожарных лабораториях (ИПЛ) технических средств под новые задачи. Для методического обеспечения новой специализации было разработано пособие «Применение физико-химических и расчетных методов в экспертном исследовании взрывов топливо-воздушных смесей», которое было рекомендовано применять при исследовании пожаров и взрывов, вызванных с дефлаграционным горением (взрывом) топливо-воздушных смесей в СЭУ МЧС России и других ведомствах.

### Результаты исследования

Первая часть курса направлена на формирование у эксперта правильных представлений о механизме, динамике и последствиях взрывов ТВС. Изучается влияние условий взрыва и его последствий, понятий очаговых и безочаговых взрывов, соотношение горючего и окислителя в ТВС в момент возникновения горения. Взрывы, которые происходят в смесях с концентрацией горючего около нижнего концентрированного предела распространения пламени (НКПР) или верхнего концентрированного предела распространения пламени (ВКПР) менее сильные, нежели происходящие при оптимальной концентрации (обычно больше стехиометрической). Взрывы ТВС с концентрацией около НКПР не приводят к последующему пожару, так как почти всё горючее расходуется при взрыве. Взрывы ТВС с концентрацией возле верхнего (ВКПР) обычно приводят к последующему пожару. Наибольшую скорость распространения пламени имеют смеси с концентрацией топлива немного выше стехиометрической. Послевзрывные пожары могут произойти, если есть «карманы» слишком богатой смеси.

Таким образом, при обучении делается акцент, на то, что, исследуя обстановку на месте пожара, можно получить важную информацию о возникновении и распространении пожара, причине и мощности взрыва.

Во вторую часть курса обучения входит определение природы горючего при взрывах ТВС. Большинство легколетучих органических соединений относится к группам продуктов переработки нефти и технических жидкостей, таких как растворители. Такие соединения отличаются высокой летучестью и способностью испаряться при небольших температурах, и формировать в смеси с воздухом взрывоопасные смеси, обладающие высокой чувствительностью к таким источникам зажигания, как нагревание, открытый огонь или искра [10].

Взрывоопасные смеси паров органических жидкостей с воздухом образуются при аварийном разливе таких жидкостей, при проведении окрасочных работ с применением растворенных в летучих органических растворителях лакокрасочных материалов, внутри резервуаров с нефтепродуктами и в ряде других случаев.

При обучении уделяется внимание тому, что на месте происшествия для установления экспертом природы ТВС рекомендуется начинать с изучения специфики объекта взрыва и обстоятельств дела. Например, при взрыве в многоквартирных жилых домах наличие централизованных газовых коммуникаций и магистралей на месте происшествия может указывать на возможность взрыва природного газа (метана).

Для исследования места взрыва ТВС и отобранных там проб рекомендуется использовать комплекс оборудования, уже имеющегося на вооружении СЭУ ФПС ИПЛ, который включает в себя: газоанализатор с фотоионизационным детектором (ФИД) типа «АНТ-3М»; многоканальный химический газоанализатор «УКАП» с индикаторными трубками «алканы», «арены», «спирты и «кетоны»; сорбционные трубки, наполненные сорбентом «Тенакс-ТА», и газожидкостной хроматограф «Кристалл» с двухстадийным термодесорбером ТДС-1.

Для обнаружения низкомолекулярных углеводородов – метана, этана и пропана – предлагается использовать газоанализатор АНТ-3М с блоком «ИКД-органика» с инфракрасным датчиком. Помимо газоанализатора АНТ для обнаружения метана могут использоваться переносные газоанализаторы с разными типами сенсоров: термокаталитические (ФП-21, СЕМ GD 3000, ИДК-95 и др.), электрохимические (ФТ-02В1 и др.) и полупроводниковые (ФП 12 и др.).

Кроме того, во вторую часть курса обучения входит рассмотрение и практическое освоение аналитической схемы (рис.) по установлению природы ТВС с подробным изучением каждого этапа как в теоретическом плане, так и в практическом с проведением натуральных экспериментов с обнаружением, отбором проб и дальнейшим их лабораторным исследованием.

В этой части программы также изучаются вопросы подготовки оборудования для исследования, вопросы отбора проб газовой фазы, твердых объектов-носителей и проб сравнения, а также подробно рассматривается методика проведения газохроматографического исследования отобранных проб с интерпретацией результатов.

В третью часть курса обучения входят вопросы, связанные с применением расчетных методов при исследовании пожаров, вызванных горением и взрывом ТВС. Необходимо было провести определение круга инженерных расчетов, в том числе используемых для решения других задач пожарной безопасности [11–13], которые могут выполняться при проведении ситуационного анализа взрыва и его последствий.

В этой части курса приводятся расчетные задачи, которые приходится решать при проведении экспертных исследований пожаров, вызванных горением и взрывом топливо-газовоздушных смесей.

Задачи условно разделены на три части:

1. Расчеты распространения газов и паров:

а) возможность воспламенения ТВС, определяемая концентрацией горючего от НКПР и до ВКПР;

б) развитие дефлаграционного процесса во времени и пространстве;

в) природы горючего компонента, которую можно установить по параметрам распространения ТВС и сравнения с имеющейся пожарной нагрузкой.

Указывается, что при помощи расчетов параметров распространения газов и паров можно получить информацию, необходимую при проверке версий об очаге и причине пожара и взрыва.



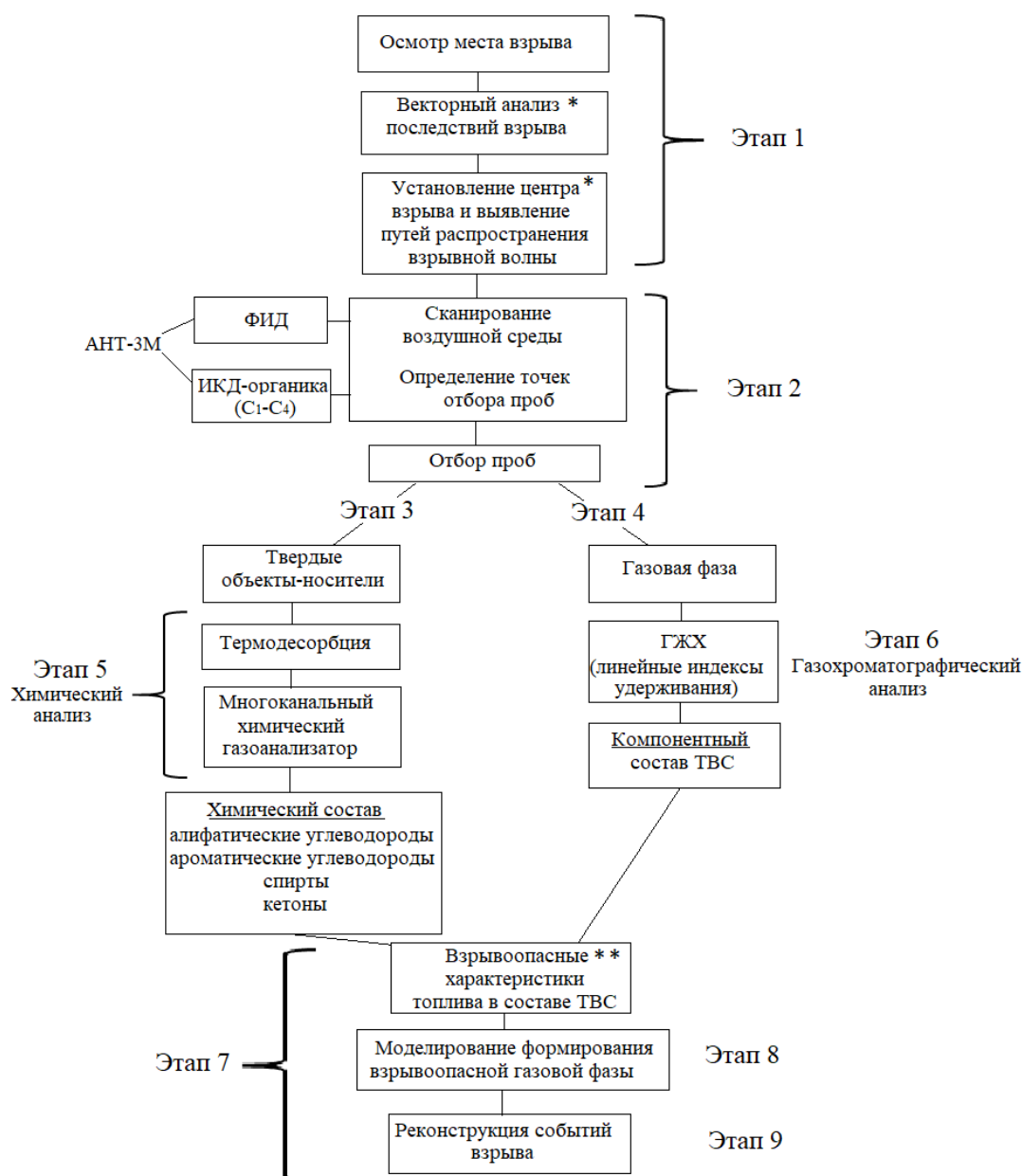


Рис. Аналитическая схема установления природы ТВС  
 (\* – выполняется по отдельной методике; \*\* – по справочным данным;  
 ГЖХ – газожидкостная хроматография)

## 2. Расчеты параметров горения и взрыва ТВС.

С помощью расчетов параметров горения и взрыва ТВС можно установить:

- примерное количество горючего компонента, влияющее на процесс распространения пожара ТВС, учитывая имеющуюся ситуацию с пожарной нагрузкой, термическими поражениями;
- возможности разрушения материальных объектов;
- действия продуктов горения и взрыва ТВС на людей и иные биологические объекты.

## 3. Расчеты критических параметров горения ТВС и вспомогательные расчеты.

С помощью расчета критических параметров горения ТВС при уже определенных фактических параметрах можно подтвердить или исключить возможность взрыва ТВС.

### Заключение

Таким образом, в работе показано, что новый курс обучения пожарно-технических экспертов «Дефлаграционное горение (взрывы) паро-газовоздушных смесей» позволит решать пожарно-техническим экспертам вопросы, связанные со взрывами ТВС.

Предлагаемый курс подготовки пожарно-технических экспертов по новой специализации должен, по мнению разработчиков, обеспечить минимально необходимый уровень подготовки экспертов по данному направлению и, соответственно, уровень экспертных заключений. Параллельно с этой задачей формулируется общий методический подход к решению основных вопросов, определяется, что должны знать и уметь эксперты. Задается на будущее профессиональный уровень экспертов.

В рамках подготовки судебных пожарно-технических экспертов и ввода новой экспертной специализации «Дефлаграционное горение (взрывы) паро-газовоздушных смесей» подготовлены квалификационные требования к судебным пожарно-техническим экспертам, рабочая программа и учебно-методический комплекс их подготовки, включающий в себя лекции и практические занятия.

Подготовленные методические материалы рекомендуется применять при исследовании пожаров и взрывов, вызванных с дефлаграционным горением (взрывом) ТВС в СЭУ МЧС России и других ведомствах.

### Список источников

1. Таубкин С.И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. М., 1999. 600 с.
2. Quintiere J.G. Principles of Fire Behavior. N.Y.: Delmar Publishers, 1998. 274 с.
3. DeHaan J.D., Icove D.J. Kirk's Fire Investigation. Boston: Pearson, 2012. 763 с.
4. NFPA 921 Guide For Fire And Explosion Investigations, 2017 Edition.  
URL: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=921/> (дата обращения: 29.06.2022).
5. Гельфанд Б.Е., Сильников М.В. Газовые взрывы. СПб.: Астерион, 2007. 240 с.
6. Гельфанд Б.Е., Сильников М.В. Объемные взрывы. СПб.: Астерион, 2008. 374 с.
7. Гельфанд Б.Е., Сильников М.В. Взрывобезопасность: учеб. СПб.: Астерион, 2006. 392 с.
8. Гельфанд Б.Е., Сильников М.В. Химические и физические взрывы. СПб.: Полигон, 2003. 416 с.
9. Explosion Hazards and Evaluation / W.E. Baker [et al.] // Elsevier, 2012. 840 с.
10. Чешко И.Д., Принцева М.Ю., Яценко Л.А. Обнаружение и установление состава легковоспламеняющихся и горючих жидкостей при поджогах: метод. пособие. М.: ВНИИПО, 2010.
11. ГОСТ 12.1.004–91. Пожарная безопасность. Общие требования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения: 29.06.2022).
12. ГОСТ Р 12.3.047–2012. Пожарная безопасность технологических процессов // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103505> (дата обращения: 29.06.2022).
13. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 29.06.2022).

### References

1. Taubkin S.I. Pozhar i vzryv, osobennosti ih ekspertizy. M., 1999. 600 s.
2. Quintiere J.G. Principles of Fire Behavior. N.Y.: Delmar Publishers, 1998. 274 s.
3. DeHaan J.D., Icove D.J. Kirk's Fire Investigation. Boston: Pearson, 2012. 763 s.

4. NFPA 921 Guide For Fire And Explosion Investigations, 2017 Edition.  
URL: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=921/> (data obrashcheniya: 29.06.2022).
5. Gel'fand B.E., Sil'nikov M.V. Gazovye vzryvy. SPb.: Asterion, 2007. 240 s.
6. Gel'fand B.E., Sil'nikov M.V. Ob"emnye vzryvy. SPb.: Asterion, 2008. 374 s.
7. Gel'fand B.E., Sil'nikov M.V. Vzryvobezopasnost': ucheb. SPb.: Asterion, 2006. 392 s.
8. Gel'fand B.E., Sil'nikov M.V. Himicheskie i fizicheskie vzryvy. SPb.: Poligon, 2003. 416 s.
9. Explosion Hazards and Evaluation / W.E. Baker [et al.] // Elsevier, 2012. 840 s.
10. Cheshko I.D., Princeva M.Yu., Yacenko L.A. Obnaruzhenie i ustanovlenie sostava legkovosplamenyayushchihsya i goryuchih zhidkostej pri podzhogah: metod. posobie. M.: VNIPO, 2010.
11. GOST 12.1.004–91. Pozharnaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (data obrashcheniya: 29.06.2022).
12. GOST R 12.3.047–2012. Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh processov // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103505> (data obrashcheniya: 29.06.2022).
13. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah: prikaz MCHS Rossii ot 10 iyulya 2009 g. № 404 // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902170886> (data obrashcheniya: 29.06.2022).

**Информация о статье:**

статья поступила в редакцию: 29.06.2022; одобрена после рецензирования: 08.07.2022;  
принята к публикации: 11.07.2022

**The information article info:** the article was received by the editorial office: 29.06.2022;  
approved after review: 08.07.2022; accepted for publication: 11.07.2022

*Информация об авторах:*

**Артур Александрович Тумановский**, заместитель начальника отдела Исследовательского центра экспертизы пожаров научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: [supertwain@gmail.com](mailto:supertwain@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5690-635X>

**Татьяна Дмитриевна Теплякова**, старший научный сотрудник отдела Исследовательского центра экспертизы пожаров научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [ttd2004@mail.ru](mailto:ttd2004@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8951-3504>

**Илья Данилович Чешко**, ведущий научный сотрудник Исследовательского центра экспертизы пожаров научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: [fdc48@yandex.ru](mailto:fdc48@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9517-9653>

*Information about authors:*

**Artur A. Tumanovsky**, deputy head of the department of the Research center for expertise of fires of the Research Institute for advanced studies and innovative technologies in the field of life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), candidate of technical sciences, e-mail: [supertwain@gmail.com](mailto:supertwain@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5690-635X>

**Tatyana D. Teplyakova**, senior researcher of the department of the Research center for expertise of fires of the Research institute for advanced study and innovative technologies in the field of life safety of the Saintt-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), e-mail: [ttd2004@mail.ru](mailto:ttd2004@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8951-3504>

**Ilya D. Cheshko**, leading researcher of the Research center for fire expertise of the research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: [fdc48@yandex.ru](mailto:fdc48@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9517-9653>

---

---

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

---

---

УДК 502.6

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ АППАРАТ РАЦИОНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ ГРУПП ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ

**Виктор Николаевич Яцуценко.**

**Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным  
ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Москва, Россия.**

**Александр Иванович Мазаник<sup>✉</sup>.**

**Академия гражданской защиты МЧС России, Москва, Россия**

<sup>✉</sup>[agz.u.s.@yandex.ru](mailto:agz.u.s.@yandex.ru)

*Аннотация.* В статье сформулирована постановка задачи рационального распределения оперативных групп МЧС России по участкам бассейна реки с целью проведения мониторинга ледовой обстановки. Сформулированная задача относится к классу  $NP$ -полных. В качестве научно-методического аппарата решения задачи выбрана теория расписаний, в частности, метод последовательного анализа и отсева неперспективных вариантов. На примере продемонстрирован алгоритм решения задачи и получаемые решения.

*Ключевые слова:* мониторинг ледовой обстановки, паводок, теория расписаний, МЧС России

**Для цитирования:** Яцуценко В.Н., Мазаник А.И. Научно-методический аппарат рационального распределения оперативных групп для проведения мониторинга ледовой обстановки // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербург. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 50–57.

## SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPARATUS FOR RATIONAL DISTRIBUTION OF OPERATIONAL GROUPS FOR ICE MONITORING

**Viktor N. Yatsutsenko.**

**Ministry of Russian Federation for civil defence, emergencies and elimination of consequences  
of natural disasters, Moscow, Russia.**

**Alexander I. Mazanik<sup>✉</sup>.**

**Civil defense academy of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia**

<sup>✉</sup>[agz.u.s.@yandex.ru](mailto:agz.u.s.@yandex.ru)

*Abstract.* The article formulates the problem of rational distribution of operational groups of EMERCOM of Russia over the sections of the river basin in order to monitor the ice situation. The formulated problem belongs to the class of  $NP$ -complete ones. As a scientific and methodological apparatus for solving the problem, the scheduling theory was chosen, in particular, the method of sequential analysis and elimination of unpromising options. An example demonstrates the algorithm for solving the problem and the resulting solutions.

*Keywords:* ice monitoring, flood, theory of schedules, EMERCOM of Russia

**For citation:** Yatsutsenko V.N., Mazanik A.I. Scientific and methodological apparatus for rational distribution of operational groups for ice monitoring // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 50–57.

## Введение

Российская Федерация занимает одно из лидирующих мест в мире по числу водных объектов, в частности крупных рек и речных систем. На реках построены многие крупные города России, что дает возможность использовать пресную воду в хозяйственно-питьевом водоснабжении и в различных секторах экономики.

Преимущественно реки России имеют северное направление течения, то есть текут с юга на север. Для таких рек характерны заторные явления, особенно в период весеннего половодья. Заторы становятся причиной резкого и значительного подъема уровня воды, что приводит к наводнениям, в том числе катастрофическим [1, 2]. Опасность заторных явлений состоит в затрудненности заблаговременного прогнозирования времени и места возникновения заторов, а также в недостатке эффективных методов расчета их параметров [1].

В работах [3–5] для оценки сроков вскрытия льда на участках реки предложен подход, который позволяет осуществлять прогноз сроков первых подвижек льда. Анализ сроков первых подвижек льда на участках рек, а также мониторинг ледовой обстановки может служить основой для оценки возникновения заторных явлений и их последствий. По результатам проведения мониторинга оценивается риск возникновения чрезвычайной ситуации.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 11 июля 2004 г. № 868 (в ред. от 8 авг. 2022 г.) [6] МЧС России организует работы по созданию системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Для проведения мониторинга ледовой обстановки привлекаются оперативные группы МЧС России, созданные на территории субъекта Российской Федерации. Порядок назначения оперативных групп для проведения мониторинга на участки реки зависит от прогноза сроков вскрытия, от удаленности протяженности и удаленности участков от мест дислокации групп, от тактических возможностей групп и т.д.

Как правило, мониторинг состояния водных объектов с целью минимизации рисков возникновения чрезвычайных ситуаций производится наземными средствами с помощью авиаразведки и дистанционного зондирования Земли.

В данной статье решается задача рационального распределения заданного количества оперативных групп МЧС России по участкам бассейна реки с целью проведения мониторинга ледовой обстановки. При этом известны прогнозные сроки вскрытия участков реки, известно время, которое оперативные группы могут затратить на проведение работ и на перемещения от одного участка реки и до другого.

Задача мониторинга участков рек оперативными группами с учетом прогноза сроков вскрытия может быть представлена как оптимизационная задача, в которой требуется найти такое распределение оперативных групп по участкам реки, чтобы время проведения мониторинга на всех участках реки было минимально.

Ниже приводится описание структуры исходных данных, постановка задачи и решение частного примера.

## Структура исходных данных

$K$  – количество оперативных групп МЧС России, привлекаемых для мониторинга и оценки обстановки в бассейне реки.

$N$  – количество работ, где в качестве работы рассматривается мониторинг какого-либо участка реки или мониторинг гидропоста.

$i, j = \overline{0, N}$  – индексы работ, где «нулевой» работе соответствует момент начала выполнения работ, то есть тот момент, когда оперативные группы находятся в своих местах дислокации.

$k = \overline{1, K}$  – индексы оперативных групп.

$t_i$  – директивное время завершения  $i$ -й работы.

$t_i^k$  – время выполнения  $i$ -й работы  $k$ -й оперативной группой.

$a_{ij}^k$  – время перемещения  $k$ -й оперативной группы от места выполнения  $i$ -й работы к месту выполнения  $j$ -й работы.

### Постановка задачи

Необходимо найти распределение всего множества работ между оперативными группами, а также определить последовательности выполнения работ каждой оперативной группой, обеспечивающие выполнение всех ограничений на установленные сроки их завершения  $t_i$ , и минимизировать время завершения всего комплекса работ [7].

### Решение задачи

Сформулированная задача может быть решена методом последовательного анализа и отсева неперспективных вариантов [7–10]. Для решения задачи необходимо дополнительно построить матрицы суммарных затрат времени  $B^k = (b_{ij}^k)$  с учетом времени выполнения работ и времени перемещения между местами выполнения работ.

$$b_{ij}^k = t_j^k + a_{ij}^k.$$

В формуле величина  $b_{ij}^k$  состоит из двух слагаемых: времени выполнения  $j$ -й работы  $t_j^k$  и времени перемещения от места выполнения  $i$ -й работы к месту выполнения  $j$ -й работы  $a_{ij}^k$ .

Суть указанного метода состоит в следующем.

На первом этапе для каждой оперативной группы строится дерево последовательностей выполнения работ (последовательность), где каждой вершине соответствует индивидуальная последовательность. Последовательность вышестоящего уровня будет являться «родительской» для всех соединенных с ней последовательностей нижестоящих уровней.

Построение дерева последовательностей относится к классу  $NP$ -полных задач [7], количество последовательностей в зависимости от количества оперативных групп и количества работ определяется как  $K \cdot N!$ . Например, для двух оперативных групп и шести работ количество последовательностей будет равно  $2 \cdot 6! = 1440$ . Для усечения дерева последовательностей применяются критерии и процедуры, тормозящие ветвление в вершинах или исключающие неперспективные последовательности из дальнейшего рассмотрения.

На втором этапе происходит объединение последовательностей из разных деревьев. Необходимо найти такой набор последовательностей, в котором результатом пересечения последовательностей будет пустое множество, то есть последовательности не имеют одинаковых работ, а результатом объединения – множество всех работ. Если найдено несколько таких наборов, то выбирается такой набор, для которого все работы будут выполнены в кратчайшие сроки:

$$F_1 = \max(T_1, T_2, \dots, T_k, \dots, T_K) \rightarrow \min,$$

где  $T_k$  – время завершения работ, назначенных  $k$ -й оперативной группе.

Рассмотрим решение сформулированной задачи на следующем примере. Двум оперативным группам,  $K = 2$ , необходимо провести мониторинг 6 участков реки,  $N = 6$ . Известны прогнозные даты вскрытия этих участков реки и соответствующие им директивные сроки проведения работ по мониторингу,  $T = (0,72, 96, 120, 144, 168, 192)$ , ч. Суммарные затраты времени  $B^1$  и  $B^2$  с учетом времени выполнения работ и времени перемещения между местами выполнения работ представлены ниже, в табл. 1, 2.

Таблица 1. Суммарные затраты  $B^1$

	0	1	2	3	4	5	6
0	$\infty$	48	48	72	24	24	96
1	24	$\infty$	48	96	72	48	120
2	24	48	$\infty$	48	72	72	96
3	48	96	48	$\infty$	24	48	24
4	24	48	72	24	$\infty$	24	24
5	24	48	72	48	24	$\infty$	48
6	72	96	72	24	24	48	$\infty$

Таблица 2. Суммарные затраты  $B^2$

	0	1	2	3	4	5	6
0	$\infty$	96	72	48	48	72	24
1	72	$\infty$	48	96	96	96	120
2	48	48	$\infty$	48	72	72	72
3	24	96	72	$\infty$	48	72	24
4	24	96	72	48	$\infty$	24	24
5	24	72	72	72	24	$\infty$	48
6	24	120	96	24	24	48	$\infty$

Построение дерева последовательностей начинается с построения корневой вершины  $s_0$ , когда каждая оперативная группа находится в пункте дислокации, то есть выполняют «нулевую» работу. Время выполнения «нулевой» работы равно нулю.

Каждая новая последовательность в дереве строится путем добавления к последовательности верхнего уровня новой вершины (работы), затем производится оценка времени завершения вновь добавленной работы и последовательности в целом.

Если время завершения последовательности превышает директивное время завершения вновь добавленной работы, то такая последовательность считается недопустимой и дальнейшее ветвление дерева в этой вершине прекращается. Это ведет к сокращению количества операций.

На рисунке приводится фрагмент дерева последовательностей для первой оперативной группы, аналогичные деревья строятся для каждой оперативной группы. Нумерация вершин приводится для фрагмента дерева, для полного дерева нумерация некоторых вершин может измениться. Рассмотрим основные типы вершин, которые присутствуют в дереве.

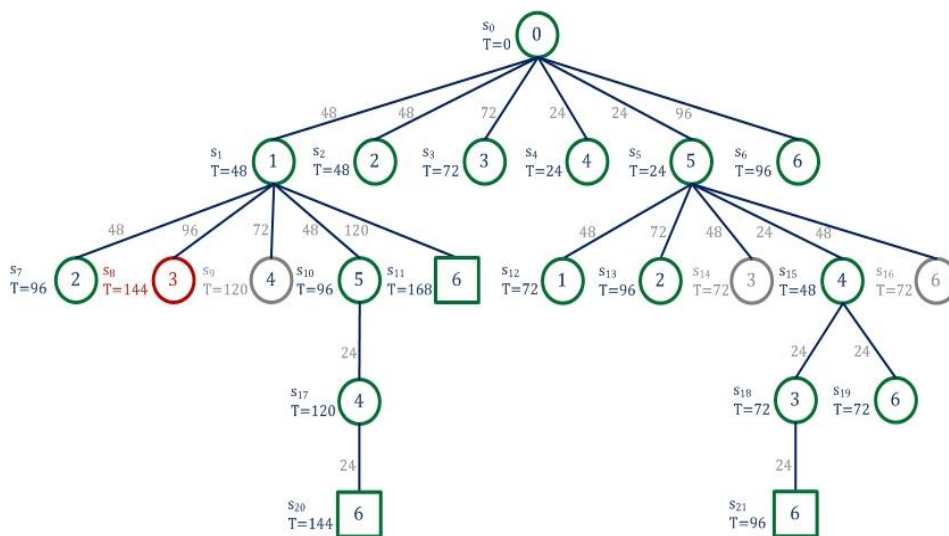


Рис. Фрагмент дерева последовательностей для  $k = 1$

Все вершины делятся на допустимые и недопустимые. У допустимых вершин время выполнения всех работ последовательности не превышает их директивного времени выполнения, у недопустимых вершин – превышает директивное время выполнения последней работы в последовательности. Допустимые вершины делятся на перспективные и неперспективные. Перспективным вершинам соответствуют последовательности, которые по определенным критериям более выгодны других последовательностей. В качестве критерия отсева может использоваться следующее правило [7]. Если для двух последовательностей  $I^1 = \{i_0^1, i_1^1, i_2^1, \dots, i_l^1\}$  и  $I^2 = \{i_0^2, i_1^2, i_2^2, \dots, i_p^2\}$  выполняются условия:

$$i_l^1 = i_p^2, I^1 \subseteq I^2 \text{ и } T^1 \geq T^2,$$



то последовательность  $I^1$  считается неперспективной. Здесь  $T^1$  и  $T^2$  соответствуют времени выполнения первой и второй последовательности соответственно.

В неперспективных вершинах ветвление может останавливаться.

Корневой вершине дерева соответствует последовательность  $s_0: \{0\}$ , то есть все работы начинаются с мест дислокации оперативных групп. Эта вершина является допустимой и перспективной.

Вершине  $s_1: \{0,1\}$  соответствует допустимая перспективная последовательность (обозначается зеленой окружностью). После этой вершины ветвление продолжается.

Вершине  $s_8: \{0,1,3\}$  соответствует недопустимая последовательность (обозначается красной окружностью), поскольку время завершения последовательности превышает директивное время выполнения последней, третьей, работы:

$$b_{01}^1 + b_{13}^1 > t_3, 48 + 96 = 144 > 120.$$

Вершине  $s_9: \{0,1,4\}$  соответствует неперспективная последовательность (обозначается серой окружностью), поскольку существует конкурирующая последовательность  $s_{17}: \{0,1,5,4\}$ , и выполняются условия (3):  $i_3^1 = i_4^2 = 4$ ,  $\{0,1,4\} \subseteq \{0,1,5,4\}$  и  $T^1 = 120 \geq T^2 = 120$ .

Таким же образом можно определить, что последовательности, соответствующие вершинам  $s_{14}: \{0,5,3\}$  и  $s_{16}: \{0,5,6\}$ , являются неперспективными. Конкурирующие им последовательности  $s_{18}: \{0,5,4,3\}$  и  $s_{19}: \{0,5,4,6\}$  более выгодны.

Вершины  $s_{11}: \{0,1,6\}$ ,  $s_{20}: \{0,1,5,4,6\}$  и  $s_{21}: \{0,5,4,3,6\}$  являются терминальными (концевыми). Такие вершины являются допустимыми, но ветвление останавливается по вполне естественным причинам: либо в последовательность включены все возможные работы, либо время завершения последовательности превышает директивное время выполнения добавляемых работ.

Таким образом, для каждой оперативной группы формируется дерево последовательностей. Для первой оперативной группы получено дерево, содержащее 43 последовательности, у второй оперативной группы дерево содержит 23 последовательности. Все последовательности приведены в табл. 3.

Таблица 3. Допустимые последовательности выполнения работ

Первая оперативная группа, $k = 1$				Вторая оперативная группа, $k = 2$	
1	{0}, 0	24	{0,4,3,2}, 96	1	{0}, 0
2	{0,1}, 48	25	{0,4,3,5}, 96	2	{0,2}, 72
3	{0,2}, 48	26	{0,4,3,6}, 72	3	{0,6}, 24
4	{0,4}, 24	27	{0,4,6,3}, 72	4	{0,2,3}, 120
5	{0,5}, 24	28	{0,4,6,5}, 96	5	{0,2,4}, 144
6	{0,1,2}, 96	29	{0,5,3,4}, 96	6	{0,2,5}, 144
7	{0,1,5}, 96	30	{0,5,4,3}, 72	7	{0,3,6}, 72
8	{0,2,3}, 96	31	{0,5,4,6}, 72	8	{0,4,6}, 72
9	{0,2,5}, 120	32	{0,5,6,4}, 96	9	{0,6,3}, 48
10	{0,4,1}, 72	33	{0,1,5,4,6}, 144	10	{0,6,4}, 48
11	{0,4,3}, 48	34	{0,2,3,4,5}, 144	11	{0,2,3,6}, 144
12	{0,4,5}, 48	35	{0,2,3,4,6}, 144	12	{0,2,4,5}, 168
13	{0,4,6}, 48	36	{0,2,3,6,4}, 144	13	{0,2,4,6}, 168
14	{0,5,1}, 72	37	{0,2,5,4,6}, 168	14	{0,2,5,6}, 192
15	{0,5,2}, 96	38	{0,4,6,3,5}, 120	15	{0,4,3,6}, 120
16	{0,5,4}, 48	39	{0,5,4,3,6}, 96	16	{0,5,4,6}, 120
17	{0,1,2,5}, 168	40	{0,5,4,6,3}, 96	17	{0,6,3,4}, 96
18	{0,1,2,6}, 192	41	{0,5,6,3,4}, 120	18	{0,6,4,3}, 96
19	{0,1,5,4}, 120	42	{0,2,3,4,5,6}, 192	19	{0,6,4,5}, 72
20	{0,2,3,4}, 120	43	{0,2,3,6,4,5}, 168	20	{0,6,5,4}, 96
21	{0,2,3,6}, 120	–	–	21	{0,3,5,4,6}, 168
22	{0,2,5,4}, 144	–	–	22	{0,6,3,4,5}, 120
23	{0,4,1,5}, 120	–	–	23	{0,6,3,5,4}, 144

Далее, необходимо объединить последовательности разных оперативных групп таким образом, чтобы у двух последовательностей не было одинаковых работ (кроме «нулевой работы») и чтобы был выполнен весь комплекс работ двумя оперативными группами.

Результат объединения последовательностей представлен в табл. 4.

Таблица 4. Допустимые объединения последовательностей

№ п/п	Последовательность, $I_k$		Время, $T_k$		$F_1$
	$k = 1$	$k = 2$	$k = 1$	$k = 2$	
1	{0,1,2}	{0,6,3,4,5}	96	120	120
2	{0,1,2}	{0,6,3,5,4}	96	144	144
3	{0,1,5,4}	{0,2,3,6}	120	144	144
4	{0,4,1,5}	{0,2,3,6}	120	144	144
5	{0,1,5,4,6}	{0,2,3}	144	120	144
6	{0,1,2}	{0,3,5,4,6}	96	168	168
7	{0,1,2,5}	{0,4,3,6}	168	120	168
8	{0,1,2,5}	{0,6,3,4}	168	96	168
9	{0,1,2,5}	{0,6,4,3}	168	96	168

Таким образом, оптимальное распределение и последовательность выполнения работ по мониторингу шести участков реки между двумя оперативными группами МЧС России соответствует первой строке табл. 4. Если по каким-либо причинам указанное оптимальное распределение не может быть выполнено, можно подобрать иное распределение, удовлетворяющее ограничениям задачи.

### Выводы

В статье сформулирована постановка задачи распределения работ по мониторингу участков реки в период паводка между оперативными группами МЧС России. Для решения задачи применяется теория расписаний, в частности, метод последовательного анализа и отсева неперспективных вариантов. На реальном примере показаны результаты, которые могут быть получены с помощью указанного метода. Практическая ценность полученного результата состоит в том, что руководитель, отвечающий за защиту населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, может оперативно с учетом быстро меняющейся обстановки проводить корректировку планов мониторинга бассейнов рек.

### Список источников

1. Нигметов Г.М., Пчелкин В.И., Филатов Ю.А. Ледовые заторы на реках Российской Федерации, пути и способы борьбы с ними // Технологии гражданской безопасности. 2003. № 1-2.
2. Кильмянинов В.В., Тазатинов В.М., Шепелев В.В. Заторы – ледовые монстры рек Якутии // Наука и техника в Якутии. 2001. № 1 (1).
3. О проблемах моделирования процесса вскрытия льда на реках в интересах оперативного реагирования МЧС России / В.Н. Яцуценко [и др.] // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2021. № 2 (49). С. 3–14.
4. Моделирование сроков вскрытия льда на реках как задача МЧС России / В.Н. Яцуценко [и др.] // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2021. № 3 (50). С. 3–11.
5. Яцуценко В.Н., Панченков В.В., Мазаник А.И. Методический подход к оценке сроков вскрытия льда на участке реки // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2022. № 3 (54). С. 3–12.
6. Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: Указ Президента

Рос. Федерации от 11 июля 2004 г. № 868 (в ред. от 8 авг. 2022 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

7. Зак Ю.А. Прикладные задачи теории расписаний и маршрутизации перевозок. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2018. 394 с.

8. Михалеви́ч В.С., Волкови́ч В.Л. Вычислительные методы исследований и проектирования сложных систем. М.: Физматгиз, Наука, 1982. 287 с.

9. Беллман Р. Динамическое программирование. М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. 400 с.

10. Зак Ю.А. Определение порядка выполнения независимых операций на параллельных машинах // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1969. № 2. С. 15–20.

## References

1. Nigmatov G.M., Pchelkin V.I., Filatov Yu.A. Ledovye zatory na rekah Rossijskoj Federacii, puti i sposoby bor'by s nimi // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2003. № 1-2.

2. Kil'myaninov V.V., Tazatinov V.M., Shepelev V.V. Zatory – ledovye monstry rek Yakutii // Nauka i tekhnika v Yakutii. 2001. № 1 (1).

3. O problemah modelirovaniya processa vskrytiya l'da na rekah v interesah operativnogo reagirovaniya MCHS Rossii / V.N. Yacucenko [i dr.] // Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity. 2021. № 2 (49). S. 3–14.

4. Modelirovanie srokov vskrytiya l'da na rekah kak zadacha MCHS Rossii / V.N. Yacucenko [i dr.] // Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity. 2021. № 3 (50). S. 3–11.

5. Yacucenko V.N., Panchenkov V.V., Mazanik A.I. Metodicheskij podhod k ocenke srokov vskrytiya l'da na uchastke reki // Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity. 2022. № 3 (54). S. 3–12.

6. Voprosy Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij: Ukaz Prezidenta Ros. Federacii ot 11 iyulya 2004 g. № 868 (v red. ot 8 avg. 2022 g.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

7. Zak Yu.A. Prikladnye zadachi teorii raspisanij i marshrutizacii perevozok. M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2018. 394 s.

8. Mihalevich V.S., Volkovich V.L. Vychislitel'nye metody issledovanij i proektirovaniya slozhnyh sistem. M.: Fizmatgiz, Nauka, 1982. 287 s.

9. Bellman R. Dinamicheskoe programmirovanie. M.: Izd-vo inostrannoj literatury, 1960. 400 s.

10. Zak Yu.A. Opredelenie poryadka vypolneniya nezavisimyh operacij na parallel'nyh mashinah // Izv. AN SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika. 1969. № 2. S. 15–20.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 02.09.2022; одобрена после рецензирования: 13.09.2022;  
принята к публикации: 14.09.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 02.09.2022; approved after review: 13.09.2022;  
accepted for publication: 14.09.2022

*Информация об авторах:*

**Виктор Николаевич Яцуценко**, заместитель министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (121357, Москва, ул. Ватутина, д. 1), e-mail: [info@mchs.gov.ru](mailto:info@mchs.gov.ru)

**Александр Иванович Мазаник**, главный научный сотрудник научно-исследовательского центра Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Московская обл., г.о. Химки, мкр. Новогорск), доктор военных наук, профессор, e-mail: [agz.u.s.@yandex.ru](mailto:agz.u.s.@yandex.ru)

*Information about the authors:*

**Viktor N. Yatsutsenko**, deputy minister of the Russian Federation for civil defense, emergencies and elimination of consequences of natural disasters (121357, Moscow, Vatutina str., 1), e-mail: [info@mchs.gov.ru](mailto:info@mchs.gov.ru)

**Alexander I. Mazanik**, chief researcher at the research center of the Academy of civil protection of EMERCOM of Russia (141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk), doctor of military sciences, professor, e-mail: [agz.u.s.@yandex.ru](mailto:agz.u.s.@yandex.ru)

УДК 621.396.6

## АНТЕННАЯ СИСТЕМА ВОЗДУШНОГО РЕТРАНСЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

Сергей Викторович Дворников✉.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия;

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург, Россия.

Виктор Иванович Власенко;

Марат Рашидович Бибарсов.

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург, Россия

✉ [practicdsv@yandex.ru](mailto:practicdsv@yandex.ru)

*Аннотация.* Представлены результаты по разработке антенной системы для ретрансляторов, расположенных на платформах летно-подъемных средств. Показана актуальность исследования применительно к проблемам подразделений МЧС России при выполнении служебных задач на территориях с разрушенной телекоммуникационной структурой. Приводится теоретическое обоснование необходимости применения антенных систем с круговой поляризацией на основе турникетных антенн. Демонстрируются результаты моделирования, полученные в среде MMANA-GAL, позволяющей рассчитывать электрические параметры антенных систем с заданными геометрическими размерами и синтезировать для них диаграммы направленности. Сформулированы предложения по конструктивным особенностям построения антенной системы ретранслятора для нижней частоты 400 МГц, характерной для профессиональных систем подвижной радиосвязи, использующей стандарты TETRA и DMR. Представлены синтезированные диаграммы направленности, характеризующие уровень затухания электромагнитного поля в вертикальной и горизонтальной плоскостях для разработанной антенной системы. Определены направления дальнейшего исследования.

*Ключевые слова:* ретранслятор на летно-подъемной платформе, турникетная антенна, синтез диаграммы направленности, электрические параметры антенн

*Для цитирования:* Дворников С.В., Власенко В.И., Бибарсов М.Р. Антенная система воздушного ретранслятора для систем подвижной связи // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 58–67.

## AIR REPEATOR ANTENNA SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS

Sergey V. Dvornikov✉.

Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation, Saint-Petersburg, Russia;

Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, Saint-Petersburg, Russia.

Victor I. Vlasenko;

Marat R. Bibarsov.

Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, Saint-Petersburg, Russia

✉ [practicdsv@yandex.ru](mailto:practicdsv@yandex.ru)

*Abstract.* The results of the development of an antenna system for repeaters located on the platforms of flight-lifting facilities are presented. The relevance of the study is shown

in relation to the problems of the departments of the Ministry of Emergency Situations of Russia, when performing official tasks in territories with a destroyed telecommunications structure. A theoretical substantiation of the need to use antenna systems with circular polarization based on turnstile antennas is given. The simulation results obtained in the MMANA-GAL environment are demonstrated, which makes it possible to calculate the electrical parameters of antenna systems with given geometric dimensions and synthesize radiation patterns for them. Proposals have been formulated on the design features of building a repeater antenna system for the lower frequency of 400 MHz, which is typical for professional mobile radio communication systems using the TETRA and DMR standards. Synthesized radiation patterns are presented that characterize the level of attenuation of the electromagnetic field in the vertical and horizontal planes for the developed antenna system. Directions for further research are determined.

*Keywords:* repeater on a flight-elevating platform, turnstile antenna, radiation pattern synthesis, electrical parameters of antennas

**For citation:** Dvornikov S.V., Vlasenko V.I., Bibarsov M.R. Air repeater antenna system for mobile communication systems // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 58–67.

### Введение

Как правило, решение задач, возлагаемых на подразделения МЧС России, происходит в сложных физико-географических условиях, на территориях с неразвитой или поврежденной телекоммуникационной структурой [1–3]. Данные факторы определяют специфику организации связи как на местах выполнения задач, так и взаимодействия с вышестоящим руководством [4]. Это связано с тем, что в местах стихийного бедствия не исключено полное или частичное разрушение систем сотовой связи, а также повреждение каналов проводной связи. Именно поэтому в МЧС России периодически проводятся конференции высокого уровня [5, 6], на которых определяются перспективы развития систем и комплексов связи.

В рамках развития данного направления в настоящей статье представлены результаты исследования по разработке антенных систем, устанавливаемых на воздушных ретрансляторах.

### Методы исследования

В настоящее время для организации связи на необорудованной территории широко применяются системы профессиональной подвижной связи ультракоротковолнового (УКВ) диапазона [7]. Типовой комплект таких средств ориентирован на использование ретрансляционного оборудования на вышках, что не всегда удобно для подразделений МЧС России [8, 9]. Учитывая указанное обстоятельство, в работе [10] сделан акцент на применение лентно-подъемных средств со специализированными платформами. Однако в такой ситуации не исключено возникновение проблем согласования средств по поляризации [11]. Это связано с тем, что в портативных радиостанциях подвижной связи применяют различные типы антенн вертикальной поляризации. В тоже время базовые станции комплектуются антеннами с изотропными или секторными диаграммами в азимутальной плоскости [12, 13]. При этом антенны носимых терминалов, то есть портативных радиостанций, должны иметь примерно круговые диаграммы направленности [14]. В диапазоне УКВ на наземных трассах деполяризация электромагнитных (ЭМ) волн незначительная, поэтому при произвольной ориентации абонентов уровни сигнала сохраняют относительную стабильность, так как не меняются углы возвышения в любом азимутальном направлении.

Однако ситуация усугубляется при расположении ретранслятора на летательном аппарате, ввиду изменения условия распространения радиоволн [15, 16]. В этом случае

поляризационная ориентация абонентов меняется как по азимуту, так и по углу места. В результате нарушается основное условие радиосвязи, то есть согласование по поляризации передающего и принимаемого сигнала [17]. Исходя из этого, на ретрансляторе, установленном на летательном аппарате, необходимы антенны круговой или эллиптической поляризации, которые содержат две поляризации: вертикальную и горизонтальную относительно поверхности земли [18, 19].

Идеальную круговую поляризацию радиоволн можно получить при применении турникетного излучателя [20]. Турникетная антенна представляет два симметричных вибратора, расположенных взаимно перпендикулярно. Вибраторы должны питаться токами одинаковой амплитуды, а фазы отличаться на  $\pi/2$  (рис. 1).

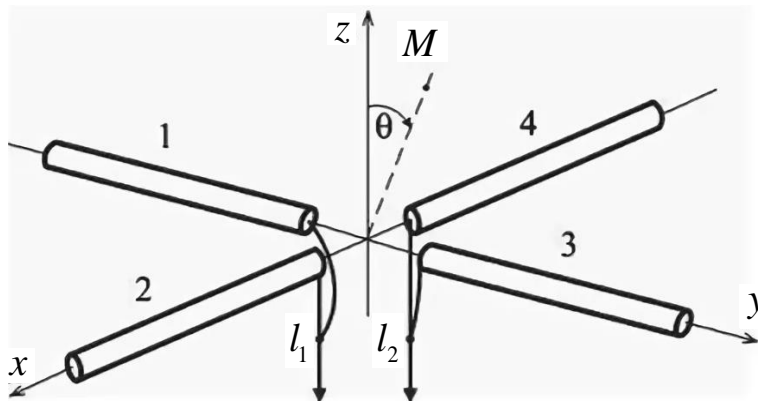


Рис. 1. Способ питания турникетной антенны

Для получения нужного сдвига фаз токов, длина отрезка одного фидера, например  $l_2$ , выбирается больше длины другого отрезка фидера, например  $l_1$ . При этом разность должна составлять четверть длины волны в фидере:

$$\Delta = l_2 - l_1 = \Lambda / 4. \quad (1)$$

В интересах дальнейшего исследования воспользуемся результатами моделирования с использованием среды MMANA-GAL [21]. Данная среда позволяет проводить расчет электрических характеристик антенн заданной конфигурации с последующим формированием диаграмм направленности (ДН).

В частности, на рис. 2 показана синтезируемая ДН турникетной антенны.

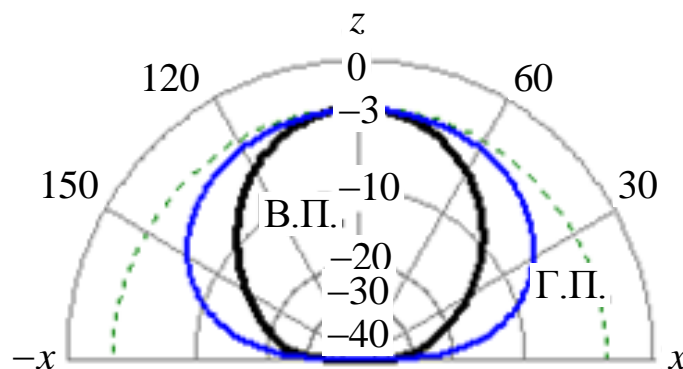


Рис. 2. Составляющие ЭМ-поля турникетной антенны

Отметим, что вдоль нормали к плоскости антенны формируются равные по амплитуде две составляющих ЭМ-поля (горизонтальная (Г.П.) и вертикальная (В.П.), значения (ДН) которых выражены в децибелах.

На рис. 3 изображено объемное представление диаграммы направленности турникетной антенны в трехмерном пространстве, где цветом определен уровень затухания в Г.П. и В.П.

Учитывая, что в структурах МЧС России в основном используются подвижные системы связи стандартов TETRA и DMR [6], то все расчёты проведены для полуволновых вибраторов на частоте 400 МГц.

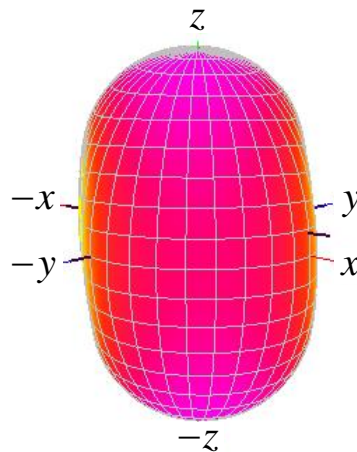


Рис. 3. Трехмерное представление распределение поля турникетной антенны

Заметим, что пространственная поляризационная ДН (3Д) турникетной антенны при питании токами одинаковой амплитуды и со сдвигом по фазе  $90^\circ$  имеет вид эллипсоида с круговой поляризацией вдоль нормали к платформе летательного аппарата.

Таким образом, анализ распределения ЭМ-поля на трехмерной ДН показал перспективность использования турникетных антенн при использовании ретрансляторов, размещаемых на летно-подъемных платформах.

### Результаты исследования и их обсуждение

Вместе с тем проведенный глубокий анализ особенностей практического применения антенн различных типов и конфигураций [22–24] показал, что для турникетного излучателя условие (1) выполняется в узком диапазоне частот, а круговая поляризация формируется только вдоль нормали к турникету. Под другими углами возвышения поляризация радиоволн трансформируется в эллиптический тип с последующим переходом в линейный, вдоль вибраторов.

Следует учитывать, что при размещении базовой станции на летательном аппарате предстоит посредством антенн формировать две ортогональные системы с целью согласования по поляризации передающего и приемного сигналов. Если ретранслировать круговую поляризацию сигналов, тогда возникает проблема создания антенн круговой поляризации в носимых терминалах.

Поэтому в исследовании был сделан упор на анализ поляризационных характеристик турникетной антенны, представляющей следующую конструкцию. Сама турникетная антенна расположена горизонтально над поверхностью Земли, а дополнительно в ее центре установлен вертикальный симметричный вибратор. При этом вся разработанная конструкция



располагается над металлическим отражателем на высоте 0,2 м для резонансной частоты 400 МГц.

Расчетные характеристики антенной системы в азимутальной и вертикальной плоскостях приведены на рис. 4, 5.

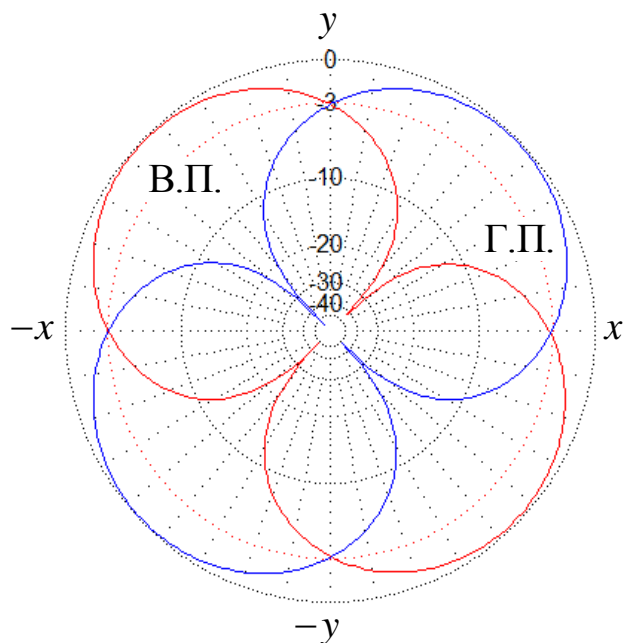


Рис. 4. Составляющие ЭМ-поля синфазных ортогональных турникетных антенн (Г.П.)

Предложенная конструкция позволила получить достаточно приемлемые электрические характеристики. Так, антенная система имеет полное сопротивление  $z \approx 91 + j6$ , что в целом указывает на его индуктивный характер. При этом разработанная система обеспечивает значение коэффициента стоячей волны не более 1,2 при согласовании с 75 Ом фидером, используемым для радиосистем и комплексов силовых ведомств.

На рис. 6, 7 представлено объемное распределение затухания в пространстве, формируемое разработанной антенной системой в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

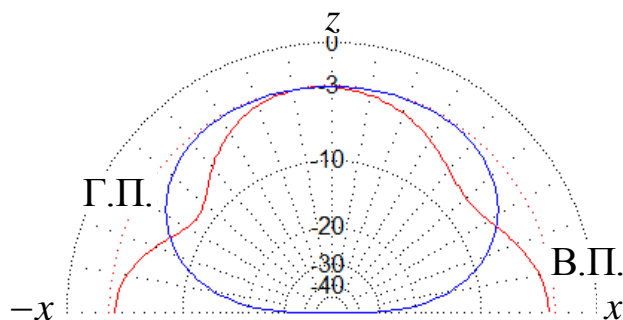


Рис. 5. Составляющие ЭМ-поля синфазных ортогональных турникетных антенн (В.П.)

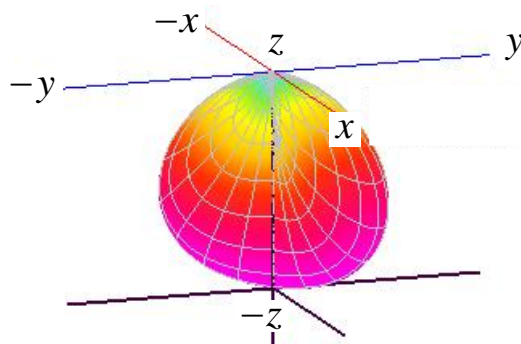


Рис. 6. Трехмерное представление распределения поля в разработанной антенной конструкции (в Г.П.)

Пространственные ДН, представленные на рис. 6, 7, предполагают, что разработанная антенная конструкция будет расположена в нижней части летательного аппарата. Все ДН приведены в линейном масштабе.

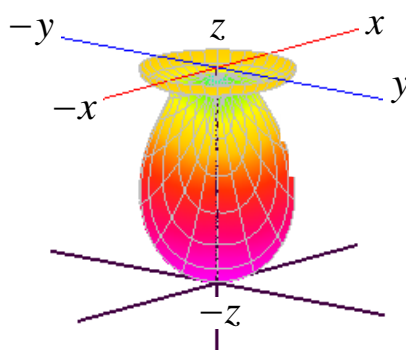


Рис. 7. Трехмерное представление распределения поля в разработанной антенной конструкции (в В.П.)

Заметим, что при синфазном питании трех вибраторов под произвольными азимутальными углами всегда существуют две составляющие транслируемого сигнала. Если запитать горизонтальный и вертикальный вибраторы со сдвигом фаз сигналов на  $90^\circ$ , то тогда можно получить равномерное покрытие доступности транслируемого сигнала в азимутальной плоскости (рис. 8).

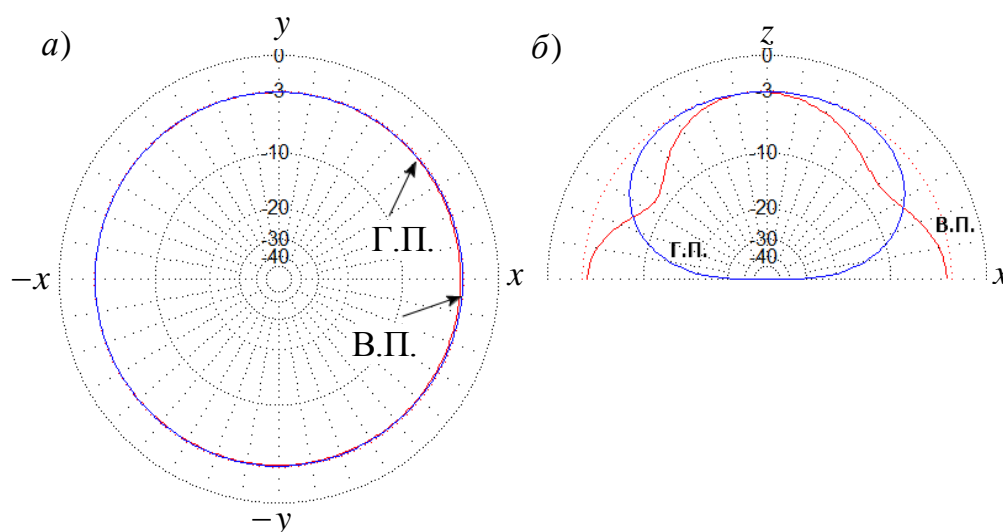


Рис. 8. Составляющие ЭМ-поля разработанной антенной системы при противофазном подключении: а) в Г.П.; б) в В.П.

При противофазном подключении значения электрических характеристик сохраняются.

### Заключение

На основании проведенного исследования можно заключить, что в качестве наиболее простого излучателя для базовой станции или ретранслятора, установленного на воздушном объекте, может быть использована конструкция на основе горизонтальной турникетной антенны с дополнено встроенным вертикальным симметричным вибратором, запутываемых напряжением, с фазовым сдвигом  $90^\circ$ . Учитывая частотный диапазон стандарта TETRA и DMR, размеры полуволновых вибраторов будут в пределах 1 м, что делает конструкцию весьма компактной.

Дальнейшие исследования авторы связывают с применением методов, разработанных в работах [25, 26], в интересах совместной частотно-временной обработки сигналов.

### Список источников

1. Осипов Ю.Н., Ершов В.И., Панфилова Е.В. Особенности организации функционирования в условиях чрезвычайных ситуаций подразделений и расчетов МЧС России, имеющих на вооружении беспилотные авиационные системы // *Пожарная безопасность*. 2019. № 1. С. 65–71.

2. Владимиров В.А. О стратегии развития системы МЧС России на период до 2020 года (взгляды и предложения) // *Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования*. 2014. Т. 4. № 2 (7). С. 306–339.

3. Онов В.А., Панкратова М.В., Остудин Н.В. Информационные аспекты в системе антикризисного управления МЧС России // *Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России»*. 2021. № 2. С. 116–124.

4. Попов А.П. Развитие системы связи МЧС России: положения концепции // *Новости науки и техники. Сер.: Медицина. Медицина катастроф. Служба медицины катастроф*. 2007. № 1. С. 193.

5. Колосов С.В., Бикеев Д.Э., Белобородов К.Д. Значение мобильных сетей связи для организации работы МЧС РФ // *Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения: сб. статей X Междунар. науч.-практ. конф.* 2018. С. 27–30.

6. Приоритетные направления развития инфокоммуникационных технологий, систем связи и оповещения РСЧС и ГО // *Предотвращение. Спасение. Помощь: сб. трудов XXXI Междунар. науч.-практ. конф.* М.: ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России, 2021. 70 с.

7. State of the question of studying the psychological factor in risk of sports according to data of domestic and foreign sources / E.Yu. Domracheva [et al.] // *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2020. Т. 7. № 3. С. 316–321.

8. Svrzic S.M., Jovanoski P. Description of the tetra 1 technology and standard for modern digital trunking systems of functional mobile radio communications // *Military Technical Courier*. 2021. Т. 69. № 3. С. 687–726.

9. Svrzić S. 2021. 25 years of the TETRA standard and technology for contemporary digital trunking systems of professional mobile radio communications. *Vojnotehnički glasnik // Military Technical Courier*. № 69 (2). P. 426–460. Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-29340>.

10. Мелешин А.С., Хуторцева М.В. Транкинговые системы и их применение в зонах чрезвычайных ситуаций // *Наукоёмкие технологии в космических исследованиях Земли*. 2009. Т. 1. № 1. С. 25–27.

11. Дворников С.В., Симонов А.Н., Богдановский С.В. Способ поляризационно-адаптивной обработки радиоизлучений в определении местоположения радиоэлектронных средств с беспилотных летательных аппаратов // *Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения*. 2017. № 3. С. 62–69.

12. Скрипник И.Л. Применение стандарта цифровой радиосвязи DMR для управления действиями подразделений МЧС России // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. 2019. С. 388–393.
13. Shneps-Shneppe D.M., Tikhonov E.O. Mesh network for railways. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2019. Т. 15. № 2. С. 516–527.
14. Дворников С.В. Упрощенное представление модели Ната для расчета затухания сигнала на открытых трассах // *Информация и космос*. 2017. № 3. С. 6–10.
15. Дворников С.В., Пшеничников А.В., Русин А.А. Обобщенная функциональная модель радиолинии с управлением её частотным ресурсом // *Вопросы радиоэлектроники*. Сер.: Техника телевидения. 2016. № 3. С. 49–56.
16. Kiani N., Hamedani F.T., Rezaei P. Polarization controlling idea in graphene-based patch antenna. *Optik – International Journal for Light and Electron Optics*. 2021. Т. 239. P. 166795.
17. Naydenko V., Kozachuk M. Vivaldi coplanar-antipodal antennas // *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week, UkrMW 2020 – Proceedings*. 2020. P. 121–125.
18. Дворников С.В., Симонов А.Н., Богдановский С.В. Способ позиционирования беспилотного летательного аппарата на основе поляризационно-адаптивной обработки радиосигналов от реперных станций // *Телекоммуникации*. 2017. № 8. С. 36–42.
19. Kaloshin V.A., Le N.T. Over wave region antenna arrays: radiation and scattering characteristics // *Conference Proceedings – 2019 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves, RSEMW 2019*. 2019. P. 32–35.
20. Chepurnyu Ya.N., Chernyaev S.V., Sklyarov I.B. Simulation of waveguide turnstile-type junction with a square waveguide output for incoherent scatter radar antenna. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2013. Т. 72. № 15. P. 1391–1398.
21. Amosov A.G. Special software application for antenna modelling in mechanical engineering // *Journal of Physics: Conference Series. II International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT II-2021)*. Krasnoyarsk, 2021. P. 42031.
22. Alekseev N.Yu., Zyuzin P.V. Assessment of applicability of wi-fi analytics in studies of urban public transport passenger flow (Moscow case study). *World of Transport and Transportation*. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 196–208.
23. Polarization direction finding method of interfering radio emission sources / A. Simonov [et al.] // *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems*. 2019. P. 208–219.
24. Автоматизированная система контроля интенсивности физических полей рассеивания сигналов / А.А. Алексеев [и др.] // *Научное приборостроение*. 2000. Т. 10. № 3. С. 77–87.
25. Демодуляция сигналов на основе обработки их модифицированных распределений / С.В. Дворников [и др.] // *Контроль. Диагностика*. 2010. № 10. С. 46–54.
26. Дворников С.В., Яхеев А.Ф. Метод измерения параметров кратковременных сигналов на основе распределения Алексеева // *Информация и космос*. 2011. № 1. С. 66–74.

## References

1. Osipov Yu.N., Ershov V.I., Panfilova E.V. Osobennosti organizatsii funkcionirovaniya v usloviyah chrezvychajnyh situatsij podrazdelenij i raschetov MCHS Rossii, imeyushchih na vooruzhenii bespilotnye aviacionnye sistemy // *Pozharnaya bezopasnost'*. 2019. № 1. S. 65–71.
2. Vladimirov V.A. O strategii razvitiya sistemy MCHS Rossii na period do 2020 goda (vzglyady i predlozheniya) // *Strategiya grazhdanskoj zashchity: problemy i issledovaniya*. 2014. Т. 4. № 2 (7). S. 306–339.
3. Onov V.A., Pankratova M.V., Ostudin N.V. Informacionnye aspekty v sisteme antikrizisnogo upravleniya MCHS Rossii // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2021. № 2. S. 116–124.

4. Popov A.P. Razvitie sistemy svyazi MCHS Rossii: polozheniya koncepcii // *Novosti nauki i tekhniki. Ser.: Medicina. Medicina katastrof. Sluzhba mediciny katastrof.* 2007. № 1. S. 193.
5. Kolosov S.V., Bikeev D.E., Beloborodov K.D. Znachenie mobil'nyh setej svyazi dlya organizacii raboty MCHS RF // *Nauka i innovacii v XXI veke: aktual'nye voprosy, otkrytiya i dostizheniya: sb. statej X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* 2018. S. 27–30.
6. Prioritetnye napravleniya razvitiya infokommunikacionnyh tekhnologij, sistem svyazi i opoveshcheniya RSCHS i GO // *Predotvrashchenie. Spasenie. Pomoshch': sb. trudov HKHKHI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. M.: FGBVOU VO AGZ MCHS Rossii, 2021. 70 c.*
7. State of the question of studying the psychological factor in risk of sports according to data of domestic and foreign sources / E.Yu. Domracheva [et al.] // *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences.* 2020. T. 7. № 3. S. 316–321.
8. Svrzic S.M., Jovanoski P. Description of the tetra 1 technology and standard for modern digital trunking systems of functional mobile radio communications // *Military Technical Courier.* 2021. T. 69. № 3. S. 687–726.
9. Svrzić S. 2021. 25 years of the TETRA standard and technology for contemporary digital trunking systems of professional mobile radio communications. *Vojnotehnički glasnik // Military Technical Courier.* № 69(2). P. 426–460. Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-29340>.
10. Meleshin A.S., Hutorceva M.V. Trankingovye sistemy i ih primenenie v zonah chrezvychajnyh situacij // *Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyah Zemli.* 2009. T. 1. № 1. S. 25–27.
11. Dvornikov S.V., Simonov A.N., Bogdanovskij C.V. Sposob polarizacionno-adaptivnoj obrabotki radioizluchenij v opredelenii mestopolozheniya radioelektronnyh sredstv s bespilotnyh letatel'nyh apparatov // *Voprosy radioelektroniki. Ser.: Tekhnika televideniya.* 2017. № 3. S. 62–69.
12. Skripnik I.L. Primenenie standarta cifrovoj radiosvyazi DMR dlya upravleniya dejstviyami podrazdelenij MCHS Rossii // *Monitoring, modelirovanie i prognozirovanie opasnyh prirodnyh yavlenij i chrezvychajnyh situacij: sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konf.* 2019. S. 388–393.
13. Shneps-Shneppe D.M., Tikhonov E.O. Mesh network for railways. *Modern Information Technologies and IT-Education.* 2019. T. 15. № 2. S. 516–527.
14. Dvornikov S.V. Uproshchennoe predstavlenie modeli Hata dlya rascheta zatuhaniya signala na otkrytyh trassah // *Informaciya i kosmos.* 2017. № 3. S. 6–10.
15. Dvornikov S.V., Pshenichnikov A.V., Rusin A.A. Obobshchennaya funkcional'naya model' radiolinii s upravleniem eyo chastotnym resursom // *Voprosy radioelektroniki. Ser.: Tekhnika televideniya.* 2016. № 3. S. 49–56.
16. Kiani N., Hamedani F.T., Rezaei P. Polarization controlling idea in graphene-based patch antenna. *Optik – International Journal for Light and Electron Optics.* 2021. T. 239. S. 166795.
17. Naydenko V., Kozachuk M. Vivaldi coplanar-antipodal antennas // *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week, UkrMW 2020 – Proceedings.* 2020. S. 121–125.
18. Dvornikov S.V., Simonov A.N., Bogdanovskij C.V. Sposob pozicionirovaniya bespilotnogo letatel'nogo apparata na osnove polarizacionno-adaptivnoj obrabotki radiosignalov ot repernyh stancij // *Telekommunikacii.* 2017. № 8. S. 36–42.
19. Kaloshin V.A., Le N.T. Over wave region antenna arrays: radiation and scattering characteristics // *Conference Proceedings – 2019 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves, RSEMW 2019.* 2019. S. 32–35.
20. Chepurnyy Ya.N., Chernyaev S.V., Sklyarov I.B. Simulation of waveguide turnstile-type junction with a square waveguide output for incoherent scatter radar antenna. *Telecommunications and Radio Engineering.* 2013. T. 72. № 15. S. 1391–1398.
21. Amosov A.G. Special software application for antenna modelling in mechanical engineering // *Journal of Physics: Conference Series. II International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT II-2021).* Krasnoyarsk, 2021. S. 42031.

22. Alekseev N.Yu., Zyuzin P.V. Assessment of applicability of wi-fi analytics in studies of urban public transport passenger flow (Moscow case study). *World of Transport and Transportation*. 2021. Т. 19. № 3 (94). S. 196–208.

23. Polarization direction finding method of interfering radio emission sources / A. Simonov [et al.] // *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems*. 2019. S. 208–219.

24. Avtomatizirovannaya sistema kontrolya intensivnosti fizicheskikh polej rasseivaniya signalov / A.A. Alekseev [i dr.] // *Nauchnoe priborostroenie*. 2000. Т. 10. № 3. S. 77–87.

25. Demodulyaciya signalov na osnove obrabotki ih modificirovannyh raspredelenij / S.V. Dvornikov [i dr.] // *Kontrol'. Diagnostika*. 2010. № 10. S. 46–54.

26. Dvornikov S.V., Yaheev A.F. Metod izmereniya parametrov kratkovremennyh signalov na osnove raspredeleniya Alekseeva // *Informaciya i kosmos*. 2011. № 1. S. 66–74.

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 06.06.2022; одобрена после рецензирования: 08.07.2022; принята к публикации: 11.07.2022

#### **The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 06.06.2022; approved after review: 08.07.2022; accepted for publication: 11.07.2022

#### *Информация об авторах:*

**Дворников Сергей Викторович**, профессор кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов (кафедра 21) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67); профессор кафедры радиосвязи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3), доктор технических наук, профессор, e-mail: [practicdsv@yandex.ru](mailto:practicdsv@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>

**Виктор Иванович Власенко**, старший преподаватель кафедры радиосвязи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [practicdsv@yandex.ru](mailto:practicdsv@yandex.ru)

**Марат Рашидович Бибарсов**, старший преподаватель кафедры радиосвязи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [practicdsv@yandex.ru](mailto:practicdsv@yandex.ru)

#### *Information about authors:*

**Sergey V. Dvornikov**, professor of the department of radio engineering and optoelectronic complexes (department 21) Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya st., 67); professor of the department of radio communications of the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky pr., 3), doctor of technical sciences, professor, e-mail: [practicdsv@yandex.ru](mailto:practicdsv@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>

**Viktor I. Vlasenko**, senior lecturer of the department of radio communications, Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky pr., 3), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: [practicdsv@yandex.ru](mailto:practicdsv@yandex.ru)

**Marat R. Bibarsov**, senior lecturer of the department of radio communications of the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky pr., 3), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: [practicdsv@yandex.ru](mailto:practicdsv@yandex.ru)

УДК 614.841.41

## РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ И ИНФОРМАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ОТ ПОЖАРОВ В ЗДАНИЯХ, СООРУЖЕНИЯХ

**Алексей Анатольевич Волошенко**<sup>✉</sup>;**Андрей Олегович Андреев.****Академия ГПС МЧС России, Москва, Россия.****Александр Александрович Козлов.****Департамент надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России,  
Москва, Россия**<sup>✉</sup>[volax84@mail.ru](mailto:volax84@mail.ru)

*Аннотация.* Для оценки риска причинения вреда чужому имуществу от пожара в здании, сооружении необходимо проведение расчетной оценки воздействия излучающего теплового потока на различные облучаемые материалы. Применение расчётной оценки в оперативном режиме является довольно затруднительным действием. Для устранения данной проблемы был разработан программный продукт для ЭВМ «Оценка риска причинения вреда от воздействия теплового потока» для приложения Microsoft Windows, на языке программирования Delphi 7. Применение программного продукта направлено на повышение надежности, оперативности, обоснованности, оптимальности, вариативности и эффективности принятого управленческого решения, не создающего конфликтной ситуации в конкретных обстоятельствах при организации деятельности должностных лиц надзорных органов МЧС России. Внедрение и применение современных информационных технологий для обеспечения пожарной безопасности соответствует Указу Президента Российской Федерации «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года».

*Ключевые слова:* риск-ориентированный подход, оценка, вред, тепловой поток, программный продукт, расстояние, здание, сооружение

**Для цитирования:** Волошенко А.А., Андреев А.О., Козлов А.А. Расчетная модель и информационный комплекс оценки опасности от пожаров в зданиях, сооружениях // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 68–75.

## CALCULATION MODEL AND INFORMATION COMPLEX OF FIRE HAZARD ASSESSMENT IN BUILDINGS, STRUCTURES

**Alexei A. Voloshenko**<sup>✉</sup>;**Andrew O. Andreev.****Academy of of State fire service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia.****Alexander A. Kozlov.****Department of supervision and preventive work of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia**<sup>✉</sup>[volax84@mail.ru](mailto:volax84@mail.ru)

*Annotation.* To assess the risk of causing damage to other people's property from a fire in a building, a construction requires a calculated assessment of the impact of the radiating heat flux on various irradiated materials. The application of the calculated estimate in the operational mode is a rather difficult action. To eliminate this problem, a computer software product «Assessment of the risk of harm from the effects of heat flow» was developed for the Microsoft Windows application, in the Delphi 7 programming language. The application of the software product is aimed at improving the reliability, efficiency, validity, optimality, variability and effectiveness

of the management decision made, which does not create a conflict situation in specific situations when organizing the activities of officials of the supervisory bodies of EMERCOM of Russia. The introduction and application of modern information technologies to ensure fire safety complies with the Decree of the President of the Russian Federation «On approval of the Fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the field of fire safety for the period up to 2030».

*Keywords:* risk-oriented approach, assessment, harm, heat flow, software product, distance, building, structure

**For citation:** Voloshenko A.A., Andreev A.O., Kozlov A.A. Calculation model and information complex of fire hazard assessment in buildings, structures // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 68–75.

## Введение

Практика применения риск-ориентированного подхода в контрольно-надзорной деятельности, с учетом основ государственной политики в области пожарной безопасности, показала, что минимально необходимые требования пожарной безопасности применяются без учета степени риска причинения вреда по расчетной модели.

Судебная практика по делам о рассмотрении споров, связанных с государственным или муниципальным контролем, показывает, что 38 % судебных дел связано с осуществлением государственного пожарного надзора за соблюдением требований пожарной безопасности. Спорные вопросы связаны с необоснованными решениями, ограничивающими права субъекта в части размещения объектов защиты. Решить проблемы противоречивости и избыточности требований пожарной безопасности позволяет риск-ориентированный подход, состоящий в оценке пожарных рисков возможного вреда охраняемым законом интересам и выборе соразмерных этим рискам противопожарных мероприятий.

Проведенный анализ применения нормативных требований пожарной безопасности по предотвращению распространения пожара между различными объектами защиты (общественные, административные, производственные, складские здания, сооружения, промышленные установки) в части установления обоснованных значений противопожарных расстояний показал, что при оценке риска причинения вреда имуществу необходимо учитывать воздействие опасных факторов пожара [1–3]. При оценке ситуаций воздействия опасных факторов пожара, позволяющих установить значение безопасного противопожарного расстояния от здания и (или) резервуара (установки) до других объектов защиты, необходимо учитывать излучающий тепловой поток от пожара с учетом «воспламеняемости» облучаемого материала [4]. Расчетное значение излучающего теплового потока ( $q_{расч}$ ), передаваемое при пожаре, выражается уравнением лучистого теплообмена между телами, разделёнными прозрачной средой [5–8].

Результатом расчёта является получение значения расчетной излучающей плотности теплового потока на облучаемом материале для дальнейшего установления безопасного расстояния между объектами защиты [9, 10].

Для оценки эффективности требований пожарной безопасности, направленных на предотвращение распространения пожара между различными объектами защиты, приведем примеры нормативной и расчетной моделей для оценки и выбора значений противопожарных расстояний.

Нормативная модель выбора противопожарного расстояния:

– 1 вариант – между резервуаром с горючей жидкостью (объем 10 000 м<sup>3</sup>, категория II, диаметр 34 м) и производственным зданием I степени огнестойкости, класса конструктивной пожарной опасности здания С0 составляет 30 м в соответствии с СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям»;

– 2 вариант – между производственным зданием I степени огнестойкости, класса



конструктивной пожарной опасности здания С0 и складом фрезерного торфа (объем 500 т) составляет 18 м в соответствии с СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям».

Расчетная модель выбора противопожарного расстояния:

– 1 вариант – между резервуаром с горючей жидкостью (объем 10 000 м<sup>3</sup>, категория II, диаметр 34 м) и производственным зданием I степени огнестойкости, класса конструктивной пожарной опасности здания С0 (облучаемая поверхность – древесина) составляет 33,38 м [5–7];

– 2 вариант – между производственным зданием I степени огнестойкости, класса конструктивной пожарной опасности здания С0 (излучающая поверхность (ширина 6 м, высота 6 м) и складом фрезерного торфа (объем 500 т, облучаемая поверхность – древесина) составляет 7,89 м [5–7].

На рис. 1 представлен сравнительный анализ применения нормативной и расчетной оценок по установлению противопожарного расстояния между объектами защиты на производственной территории.



Рис. 1. Сравнительный анализ применения нормативной и расчетной оценок

Сравнительный анализ показал, что в первом варианте нормативная оценка приводит к необеспечению безопасности и может повлечь претензии к должностному лицу, принявшему это решение. Во втором варианте нормативная оценка показала избыточность требования, что приводит к административным барьерам и увеличению затрат на противопожарную защиту, что также характеризует действие лица, принимающего решение, по применению таких требований, как противоправные.

Следовательно, для определения обоснованного безопасного расположения зданий, сооружений необходимо использовать расчетную модель выбора противопожарного расстояния. Однако применить данную модель при выборе расстояния не представляется возможным по условию дефицита времени, установленного процессуальными нормами при проведении контрольных (надзорных) мероприятий в отношении объектов защиты.

Для устранения данной проблемы была разработана компьютерная программа для ЭВМ «Оценка риска причинения вреда от воздействия теплового потока» для Microsoft Windows, на языке программирования Delphi 7, которая реализует автоматизацию обобщенной расчетной модели, представленной в работах [5–8].

## Методы исследования

Проведенный анализ нормативной и расчетных моделей применения требований пожарной безопасности по предотвращению распространения пожара между объектами защиты показал эффективность и обоснованность безопасного расположения зданий, сооружений с учетом использования информационной поддержки принятия решения при выборе противопожарного расстояния путем применения расчетной модели.

Для практической реализации информационной поддержки по выбору соразмерных риску причинения вреда требований пожарной безопасности, в части безопасного противопожарного расстояния между объектами защиты сотрудниками государственного пожарного надзора за требованиями пожарной безопасности при проведении контрольных (надзорных) мероприятий был разработан алгоритм, представленный на рис. 2.

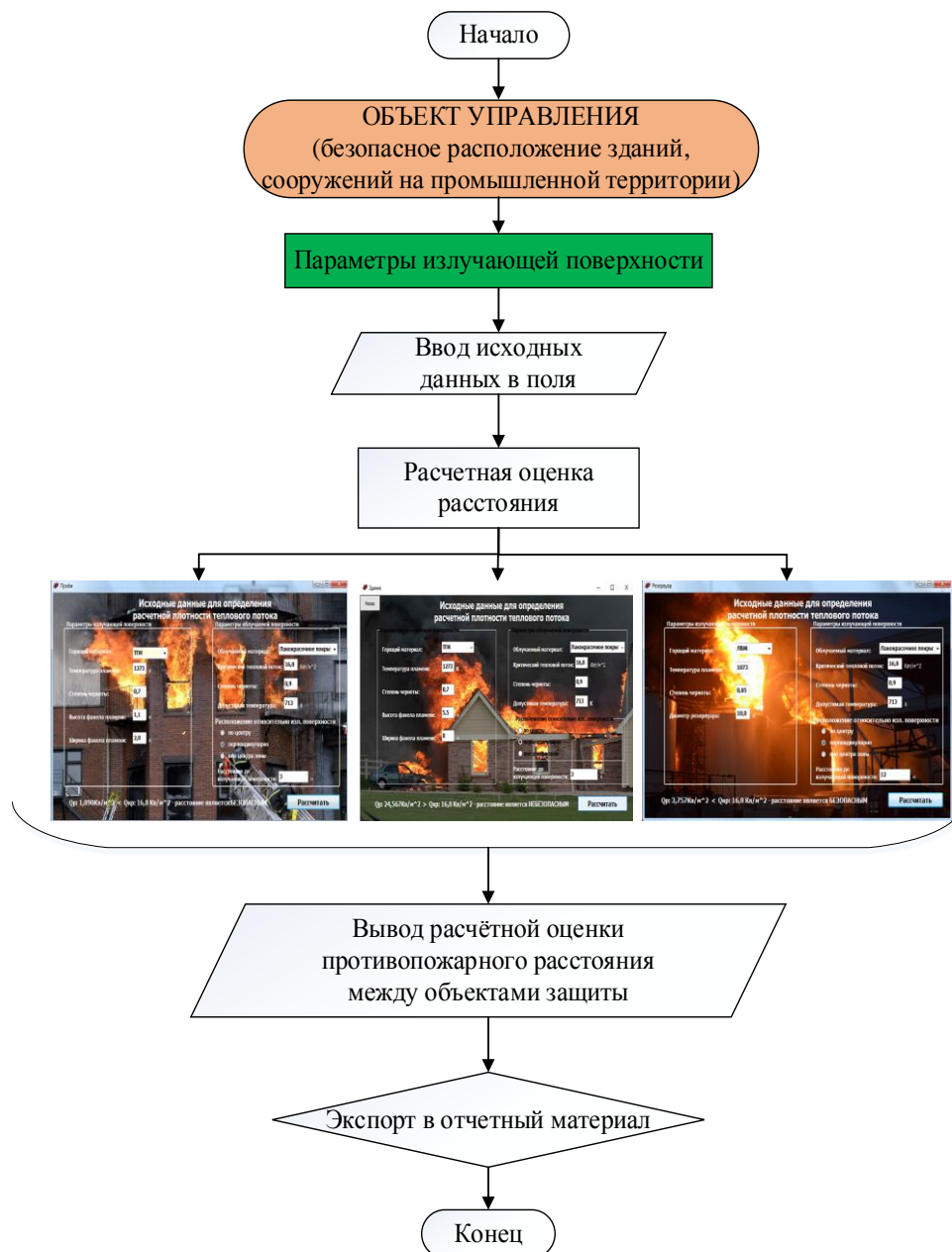


Рис. 2. Алгоритм поддержки принятия решения о безопасном противопожарном расстоянии между объектами защиты

Для начала работы необходимо открыть файл «Программа». После его запуска открывается основное окно программы, представленное на рис. 3. С помощью кнопок можно перемещаться между вкладками, производя расчеты, тем самым решая текущие задачи по определению расчетных значений теплового потока и последующего определения безопасности расстояний между зданиями, сооружениями.

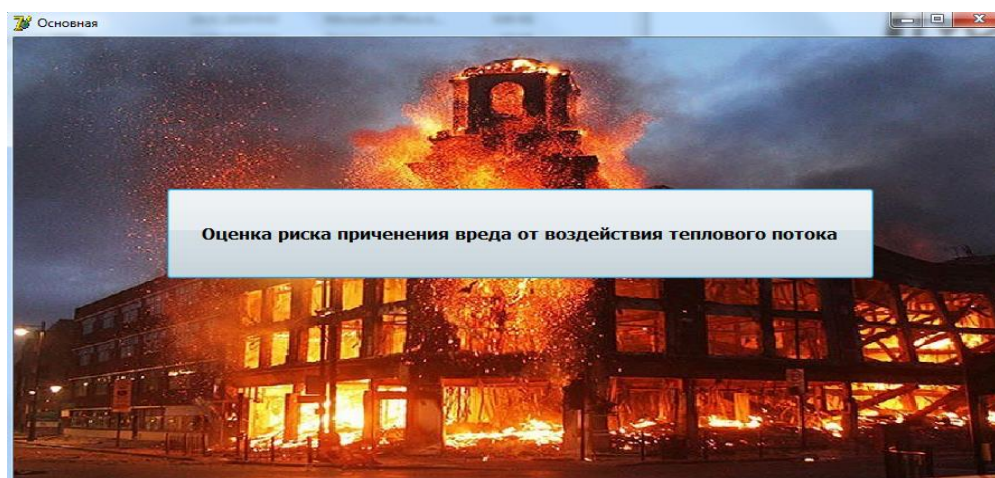


Рис. 3. Общий вид основного окна

Для дальнейшего определения безопасного противопожарного расстояния между зданиями, сооружениями можно воспользоваться тремя видами излучающей поверхности: «Проем», «Здание», «Резервуар».

При выборе вида излучающей поверхности отображается информация о вводе исходных данных для определения расчетной излучающей плотности теплового потока.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для практической реализации информационной поддержки по выбору соразмерных риску причинения вреда требований пожарной безопасности проведем ее практическую реализацию.

Пример ввода исходных данных для проведения расчетной оценки и последующего подбора безопасного противопожарного расстояния между объектами защиты представлен на рис. 4.



Рис. 4. Пример ввода данных и результат расчета с выводом



В данном примере расстояние между излучающей и облучаемой поверхностями, равное 12 м, является безопасным, поскольку условие выполняется  $q_{расч.}=2,899 \text{ кВт/м}^2 < q_{кр}=11,0 \text{ кВт/м}^2$ .

Пример ввода исходных данных для проведения расчетной оценки и последующего подбора безопасного противопожарного расстояния между объектами защиты представлен на рис. 5.

Рис. 5. Пример ввода данных и результат расчета с выводом

В данном примере расстояние между излучающей и облучаемой поверхностями, равное 7 м, является безопасным, поскольку условие выполняется  $q_{расч.}=16,191 \text{ кВт/м}^2 < q_{кр}=22,6 \text{ кВт/м}^2$ .

Представленные расчеты позволяют оперативно оценить соответствие системы противопожарной защиты в виде противопожарного расстояния риску причинения вреда с учетом воздействия лучистого теплового потока на различные пожароопасные облучаемые материалы.

### Заключение

Информационная поддержка в виде компьютерной программы для ЭВМ «Оценка риска причинения вреда от воздействия теплового потока» направлена на повышение эффективности организации деятельности по соблюдению обязательных требований пожарной безопасности, необходимых для предотвращения распространения пожара между зданиями, сооружениями, сотрудниками ФПС МЧС России на основе риск-ориентированного модели [11–13].

Практическое применение программного продукта для ЭВМ позволит избежать сложных вычислений и возможных ошибок при проведении многократных вычислений расчетных значений плотности теплового потока и противопожарного расстояния между объектами защиты.

Внедрение и применение современных информационных технологий для обеспечения пожарной безопасности соответствует Указу Президента Российской Федерации «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года».

**Список источников**

1. Козлачков В.И., Лобаев И.А., Волошенко А.А. Проблема оценки пожарных рисков при применении требований пожарной безопасности по ограничению распространения пожара // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 2 (66). С. 79–81.
2. Натурный огневой эксперимент по оценке воспламеняемости материалов при воздействии теплового потока / И.А. Лобаев [и др.] // Технологии техносферной безопасности. 2019. № 4 (86). С. 37–44.
3. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров: пер. с англ. К.Г. Бомштейна / под ред. Ю.А. Кошмарова, В.Е. Макарова. М.: Стройиздат, 1990. 162 с.
4. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами. Харьков: АГЗУ, 2006. 256 с.
5. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с изм. № 1). URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения: 30.12.2021).
6. Кошмаров Ю.А., Башкирцев М.П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1987. 444 с.
7. Ройтман М.Я. Противопожарное нормирование в строительстве. М.: Стройиздат, 1985. 590 с.
8. Lu K.H. Heat flux profile upon building façade with side walls due to window ejected fire plume: an experimental investigation and global correlation // Fire Safety Journal. 2014. P. 14–22.
9. Лобаев И.А., Волошенко А.А. Риск-ориентированная модель управления пожарной безопасностью в области предотвращения распространения пожара между зданиями // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение и ликвидация. 2020. № 1. С. 36–43. DOI: 10.25257/FE.2020.1.36-43.
10. Гоман П.Н., Соболевская Е.С. Разработка программы расчёта интенсивности теплового излучения при пожаре // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 1 (65). С. 250–257.
11. Black J. Risk-based regulation: choices, practices and lessons being learnt // Risk and regulatory policy. Improving the governance of risk. Paris: OECD, 2010. P. 185–224. DOI: 10.1787/9789264082939-11-en.
12. Saaty T. Mathematical Principles of Decision Making (Principia Mathematica Decernendi). Pittsburgh: RWS Publications, 2010. 615 p.
13. Якимова Е.М. Государственный механизм защиты субъектов предпринимательской деятельности в современной России // Вестник Томского государственного университета. Право. 2018. № 28. С. 83–95. DOI: 10.17223/22253513/28/8.

**References**

1. Kozlachkov V.I., Lobaev I.A., Voloshenko A.A. Problema ocenki pozharnyh riskov pri primeneniі trebovaniy pozharnoj bezopasnosti po ogranicheniyu rasprostraneniya pozhara // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2016. № 2 (66). S. 79–81.
2. Naturnyj ognevoj eksperiment po ocenke vosplamenyayemosti materialov pri vozdeystvii teplovogo potoka / I.A. Lobaev [i dr.] // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2019. № 4 (86). S. 37–44.
3. Drajzdejł D. Vvedenie v dinamiku pozharov: per. s angl. K.G. Bomshtejna / pod red. Yu.A. Koshmarova, V.E. Makarova. M.: Strojizdat, 1990. 162 s.
4. Abramov Yu.A., Basmanov A.E. Preduprezhdenie i likvidaciya chrezvychajnyh situacij v rezervuarnyh parkah s nefteproduktami. Har'kov: AGZU, 2006. 256 s.
5. GOST 12.1.004–91. Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Pozharnaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya (s izm. № 1). URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (data obrashcheniya: 30.12.2021).
6. Koshmarov Yu.A., Bashkircev M.P. Termodinamika i teploperedacha v pozharnom dele. M.: VIPTSH MVD SSSR, 1987. 444 s.

7. Rojzman M.Ya. Protivopozharnoe normirovanie v stroitel'stve. M.: Strojizdat, 1985. 590 s.
8. Lu K.H. Heat flux profile upon building façade with side walls due to window ejected fire plume: an experimental investigation and global correlation // Fire Safety Journal. 2014. P. 14–22.
9. Lobaev I.A., Voloshenko A.A. Risk-orientirovannaya model' upravleniya pozharnoj bezopasnost'yu v oblasti predotvrashcheniya rasprostraneniya pozhara mezhdru zdaniyami // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie i likvidaciya. 2020. № 1. S. 36–43. DOI: 10.25257/FE.2020.1.36-43.
10. Goman P.N., Sobolevskaya E.S. Razrabotka programmy raschyota intensivnosti teplovogo izlucheniya pri pozhare // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2016. № 1 (65). S. 250–257.
11. Black J. Risk-based regulation: choices, practices and lessons being learnt // Risk and regulatory policy. Improving the governance of risk. Paris: OECD, 2010. P. 185–224. DOI: 10.1787/9789264082939-11-en.
12. Saaty T. Mathematical Principles of Decision Making (Principia Mathematica Decernendi). Pittsburgh: RWS Publications, 2010. 615 p.
13. Yakimova E.M. Gosudarstvennyj mekhanizm zashchity sub"ektov predprinimatel'skoj deyatel'nosti v sovremennoj Rossii // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Pravo. 2018. № 28. S. 83–95. DOI: 10.17223/22253513/28/8.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 09.06.2022; одобрена после рецензирования: 11.07.2022; принята к публикации: 25.07.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 09.06.2022; approved after review: 11.07.2022; accepted for publication: 25.07.2022

*Информация об авторах:*

**Алексей Анатольевич Волошенко**, преподаватель кафедры надзорной деятельности (в составе учебно-научного комплекса организации надзорной деятельности) Академии ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), e-mail: volax84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9468-6995>

**Андрей Олегович Андреев**, профессор кафедры надзорной деятельности (в составе учебно-научного комплекса организации надзорной деятельности) Академии ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), кандидат технических наук, доцент, e-mail: andreoleg65@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7407-3152>.

**Александр Александрович Козлов**, заместитель начальника отдела организации предоставления государственных услуг, межведомственного взаимодействия и статистики в области пожарной безопасности Департамента надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России (121357, Москва, ул. Ватутина, д. 1), e-mail: dkac77@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0582-4688>

*Information about authors:*

**Aleksey A. Voloshenko**, lecturer, department of supervisory activities (as part of the educational and scientific complex for the organization of supervisory activities) of the Academy of State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Boris Galushkin St., 4), e-mail: volax84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9468-6995>

**Andrey O. Andreev**, professor of the department of supervisory activities (as part of the educational and scientific complex for the organization of supervisory activities) of the Academy of State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Boris Galushkina, d. 4), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: andreoleg65@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7407-3152>.

**Aleksandr A. Kozlov**, deputy head of the department for the organization of the provision of public services, interdepartmental cooperation and statistics in the field of fire safety of the Department for supervisory activities and preventive work of the Ministry of Emergency situations of Russia (121357, Moscow, Vatutina St., 1), e-mail: dkac77@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0582-4688>

УДК 621.391

## ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ СИГНАЛОВ КАМ-16, СФОРМИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ ГЕКСОГОНАЛЬНЫХ РЕШЕТОК

**Сергей Викторович Дворников**✉;**Сергей Алексеевич Якушенко.****Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия;****Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург, Россия.****Артемий Юрьевич Жданов.****Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия**✉ [practicdsv@yandex.ru](mailto:practicdsv@yandex.ru)

*Аннотация.* Представлены предложения исследования помехоустойчивости приема шестнадцати позиционных сигналов квадратурной модуляции, синтезированных на основе гексагональных решеток. Рассмотрена актуальность поиска перспективных направлений по разработке помехоустойчивых систем радиосвязи в интересах МЧС России. Проанализированы энергетические параметры сигнальных конструкций, синтезированных способом квадратурной манипуляции. Получены аналитические выражения оценки их помехоустойчивости с позиций средней мощности сигнальных конструкций, с учетом представления перехода от символьной ошибки к битовой ошибке. Демонстрируются графические материалы. Обоснован переход к гексагональной структуре шестнадцати позиционных сигналов при минимизации возможного увеличения пик-фактора. Предложены способы трансформации сигнальных созвездий КАМ-16. Определены перспективы использования разработанных технических решений в интересах дальнейшего развития и совершенствования радиосвязи МЧС.

*Ключевые слова:* гексагональные структуры сигналов, помехоустойчивость приема сигналов КАМ-16, трансформация сигнальных созвездий, расчет вероятности битовой ошибки.

**Для цитирования:** Дворников С.В., Якушенко С.А., Жданов А.Ю. Помехоустойчивость сигналов КАМ-16, сформированных на основе гексагональных решеток // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 76–88.

## NOISE IMMUNITY OF QAM-16 SIGNALS FORMED ON THE BASIS OF HEXOGONAL GRIDDGES

**Sergey V. Dvornikov**✉;**Sergei A. Yakushenko.****Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation, Saint-Petersburg, Russia;****Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union****S.M. Budyonny, Saint-Petersburg, Russia.****Artemy Yu. Zhdanov.****Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation, Saint-Petersburg, Russia**✉ [practicdsv@yandex.ru](mailto:practicdsv@yandex.ru)

*Abstract.* Proposals for studying the noise immunity of receiving sixteen positional quadrature modulation signals synthesized on the basis of hexagonal arrays are presented.

The relevance of the search for promising areas for the development of noise-immune radio communication systems in the interests of Ministry of EMERCOM of Russia is considered. The energy parameters of signal structures synthesized by the quadrature keying method are analyzed. Analytical expressions are obtained for estimating their noise immunity from the standpoint of the average power of signal structures, taking into account the representation of the transition from a symbol error to a bit error. Graphic materials are shown. The transition to the hexagonal structure of sixteen positional signals is substantiated, while minimizing the possible increase in the crest factor. Methods for transforming signal constellations QAM-16 are proposed. The prospects for using the developed technical solutions in the interests of further development and improvement of radio communications of the Ministry of EMERCOM are determined.

*Keywords:* hexagonal structures of signals, noise immunity of QAM-16 signal reception, transformation of signal constellations, and calculation of bit error probability.

**For citation:** Dvornikov S.V., Yakushenko S.A., Zhdanov A.Yu. Noise immunity of QAM-16 signals formed on the basis of hexagonal grids // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 76–88.

## Введение

Сложность решения практических задач, возложенных на подразделения МЧС России, возможна только в условиях устойчивого управления [1]. Поэтому развитию и построению системы связи в интересах МЧС России уделяется приоритетное внимание [2]. Вместе с тем анализ систем и комплексов радиосвязи, состоящих на снабжении ведомственных подразделений, показал, что в настоящее время преимущественно используются или коммерческие изделия, или средства радиосвязи 4-го и 5-го поколений, выпускаемых промышленностью для силовых ведомств [3]. Однако указанные средства, как правило, не в полной мере отвечают возрастающим требованиям по пропускной способности и помехоустойчивости, о чем неоднократно делался акцент в научном сообществе [1, 3, 4].

Следовательно, необходим поиск новых технологических решений в области радиотехники с последующей их реализацией непосредственно при разработке аппаратуры в интересах связи МЧС России. Такой подход позволит со временем обеспечить подразделения МЧС России высокотехнологичным оборудованием, отвечающим все возрастающим требованиям по пропускной способности и помехоустойчивости.

В рамках решения рассмотренной проблемы в настоящей статье представлены результаты по разработке шестнадцати позиционных сигналов квадратурно-амплитудной модуляции (КАМ), синтезируемых на основе гексагональных конструкций, обладающих повышенной помехоустойчивостью.

## Энергетические параметры сигнальных конструкций КАМ

Сигнальные конструкции, формируемые на основе КАМ, достаточно хорошо изучены [5–8] и активно применяются на практике [9–12]. Прежде всего, это обусловлено высокой пропускной способностью каналов, использующих сигналы КАМ-16 [7]. Однако высокая позиционность этих конструкций негативно сказывается на их помехоустойчивости [6, 8], что ограничивает применение данных конструкций именно в линиях и сетях радиосвязи.

Для лучшего понимания возможностей сигналов КАМ-16 рассмотрим особенности их синтеза. В общем случае шестнадцати позиционная квадратурная модуляция представляет собой технологическое объединение амплитудной и фазовой манипуляций [5], в которой каждой комбинации из четырех битов соответствует свое значение амплитуды и фазы несущего колебания, формируемой квадратурным способом. В результате



формируемый сигнал может быть описан суммой двух несущих колебаний  $I(t)$  и  $Q(t)$  с одинаковой частотой, но сдвинутых относительно друг друга по фазе на  $90^\circ$ :

$$s(t) = I(t) \cos(2\pi f_0 t) + Q(t) \sin(2\pi f_0 t), \quad (1)$$

где  $I(t)$  и  $Q(t)$  – модулирующие (манипулирующие) сигналы;  $f_0$  – частота несущего колебания.

Согласно формуле (1) сущность квадратурной модуляции определяется фазовым различием  $\pi/2$  радиан между функциями  $\cos$  и  $\sin$ . При этом размерность синтезируемой конструкции будет определяться манипулирующими сигналами  $I(t)$  и  $Q(t)$ , содержание которых, в свою очередь, определяет информационная импульсная последовательность  $u(*)$ :

$$I(t) = \sum_{k=1}^K A_I \cos(\theta_k t) u(t - kT_s);$$

$$Q(t) = \sum_{k=1}^K A_Q \sin(\theta_k t) u(t - kT_s),$$

где  $\theta_k$  – полная фаза, периодически сохраняющая свое значение на длительности интервала  $kT_s \leq t \leq (k+1)T_s$ ;  $T_s$  – тактовый интервал, определяющий скорость манипуляции;  $A_I$  и  $A_Q$  – значения амплитуд манипулирующих информационных импульсов, определяемых на длительности  $T_s$ , которые могут быть выражены посредством линейной комбинации двух ортонормированных функций;  $k=1, \dots, K$  – текущая переменная, определяющая последовательность следования информационных битов.

Далее, переходя к энергетическим параметрам, определяющим помехоустойчивость сигнальной конструкции, перепишем выражение (1) с учетом того, что результирующий сигнал зависит от информационного бита:

$$\begin{aligned} s_k(t) &= a_k \sqrt{\frac{2E_0}{T_s}} \cos(2\pi f_0 t) + b_k \sqrt{\frac{2E_0}{T_s}} \sin(2\pi f_0 t) = \\ &= s_{kI} \varphi_I(t) + s_{kQ} \varphi_Q(t), \quad 0 \leq t \leq T_s. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь:

$$\varphi_{kI}(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos(2\pi f_0 t), \quad s_{kI} \varphi_I(t) = a_k \sqrt{E_0}; \quad (3)$$

$$\varphi_{kQ}(t) = -\sqrt{\frac{2}{T_s}} \sin(2\pi f_0 t), \quad s_{kQ} \varphi_Q(t) = b_k \sqrt{E_0}. \quad (4)$$

В выражениях (2–4)  $E_0$  – энергия сигнала наименьшей амплитуды;  $(a_k, b_k)$  – значения, определяющие положение точки сигнального созвездия на фазовой плоскости.

Следовательно, средняя энергия  $M$ -го сигнала КАМ будет равна:

$$E = \int_0^{T_s} E \{s_k^2(t)\} dt = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (a_k + b_k) E_0,$$

а средняя мощность, соответственно:

$$P = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (a_k + b_k) E_0 / T_s = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (a_k + b_k) A^2 / 2. \quad (5)$$

Для шестнадцати позиционного сигнала КАМ (КАМ-16) значения  $(a_k, b_k)$ , определяющие положение точки сигнального созвездия, с учетом общей энергетики сигнала  $E_0$ , задаются матрицей вида:

$$\{a_k, b_k\} = \begin{bmatrix} (-3, 3) & (-1, 3) & (1, 3) & (3, 3) \\ (-3, 1) & (-1, 1) & (1, 1) & (3, 1) \\ (-3, -1) & (-1, -1) & (1, -1) & (3, -1) \\ (-3, -3) & (-1, -3) & (1, -3) & (3, -3) \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Очевидно, что чем больше возможных позиций на фазовой плоскости, тем выше вероятность ошибочного решения, вызванного деструктивным воздействием шума [13]. Это обусловлено, прежде всего, значительной величиной пик-фактора сигнальной конструкции, сформированной традиционным способом [9, 14, 15].

В интересах оценки средней мощности рассматриваемой сигнальной конструкции воспользуемся уравнением (5), положив значение  $K=16$ :

$$P = \frac{1}{16} \sum_{k=1}^{16} (a_k + b_k) A^2 / 2 = 5A^2, \quad (7)$$

где  $A$  – наименьшее значение из амплитуд, определяющих все положения сигнальных точек на фазовой плоскости [16].

Так, согласно (6), в выражении (7)  $A=1$ .

### Помехоустойчивость сигнальных конструкций КАМ

Поскольку при квадратной  $M$  КАМ формируемые сигнальные созвездия определяются как  $M=2^k$ , то их синтез можно рассматривать как комбинацию двух модуляций – в синфазном  $I$  и квадратурном  $Q$  каналах соответственно. При этом каждый канал модулируется в соответствии со схемой  $\sqrt{M}$  амплитудной модуляцией [17]. На основании этого можно утверждать об отсутствии ошибки в принятой кодовой комбинации только в том случае, если она не обнаружена ни в синфазном канале, ни в квадратурном канале. Тогда, с учетом симметрии пространства сигналов и ортогональности синфазного и квадратурного каналов вероятность обнаружения ошибки  $P_c$  можно представить как:

$$P_c = (1 - P_s)^2, \quad (8)$$

где  $P_s$  – вероятность ошибки символа для  $\sqrt{M}$  амплитудной модуляции.

В работе [13] обоснован расчет величины  $P_s$  с использованием следующего выражения:

$$P_s = \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M}} Q \left[ \sqrt{\frac{3E_s}{(M-1)N_0}} \right], \quad (9)$$

где  $E_s$  – энергия, приходящаяся на символ,  $N_0$  – спектральная плотность мощности шума;  $Q$  – функция распределения хвоста от стандартного нормального распределения.

В общем случае  $Q$ -функция имеет следующий вид [18, 19]:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du.$$

В дальнейших расчетах аппроксимация  $Q$ -функции осуществлялась с учетом подхода, предложенного в работе [18], через функцию ошибок  $\operatorname{erf}(x)$  и ее дополнение  $\operatorname{erfc}(x)$ :

$$Q(x) = \frac{1}{2} \left[ \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{x/\sqrt{2}}^{\infty} \exp(-t^2) dt \right] = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right). \quad (10)$$

Тогда, подставляя в выражение (8) значение  $P_s$ , определяемое по формуле (9), вероятность символьной ошибки для  $M$ -го сигнала КАМ представим как:

$$P_s = 1 - P_c = 1 - \left[ 1 - \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M}} Q\left(\sqrt{\frac{3E_s}{(M-1)N_0}}\right) \right]^2.$$

Переходя от вероятности символьной ошибки к вероятности битовой ошибки, следует учесть связь, определяющую количество информационных битов, содержащихся в символе конструкции, сформированной на основе КАМ:

$$P_b = \frac{1 - \left[ 1 - \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M}} \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3E_b \log_2(M)}{(M-1)N_0}}\right) \right]^2}{\log_2 M},$$

где  $E_b$  – энергия, приходящаяся на один бит.

Далее, учитывая, что в шестнадцати позиционной модуляции значение  $M=16$ , получим:

$$\begin{aligned} P_b &= \left\{ 1 - \left[ 1 - \frac{2(\sqrt{16}-1)}{\sqrt{16}} Q\left(\sqrt{\frac{3E_b \log_2(16)}{(16-1)N_0}}\right) \right]^2 \right\} / \log_2(16) = \\ &= \frac{1}{4} \left\{ 1 - \left[ 1 - \frac{3}{2} Q\left(\sqrt{\frac{4E_b}{5N_0}}\right) \right]^2 \right\} = \\ &= \frac{1}{4} \left\{ 1 - \left[ 1 - 3Q\left(\sqrt{\frac{4E_b}{5N_0}}\right) + \frac{9}{4} Q^2\left(\sqrt{\frac{4E_b}{5N_0}}\right) \right] \right\} = \\ &= \frac{3}{4} Q\left(\sqrt{\frac{4E_b}{5N_0}}\right) - \frac{9}{16} Q^2\left(\sqrt{\frac{4E_b}{5N_0}}\right). \end{aligned}$$

Или в терминах дополнения функции  $\operatorname{erfc}(x)$ :

$$P_b = \frac{3}{4 \times 2} \operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{4E_b}}{\sqrt{5N_0}}\right) - \frac{9}{16 \times 2} \operatorname{erfc}^2\left(\frac{\sqrt{4E_b}}{\sqrt{5N_0}}\right). \quad (11)$$

На рис. 1 представлен график зависимости вероятности битовой ошибки от отношения энергии битовой ошибки  $E_b$  к спектральной плотности мощности шума  $N_0 - h_0^2 = E_b / N_0$ , далее по тексту определенное как ОСШ.

Полученные результаты коррелируют с данными исследования, полученными в работах [7, 20, 21], что указывает на правомерность предложенного теоретического подхода. Согласно полученным данным, снижение уровня ОСШ с 15 дБ до 8 дБ приведет к увеличению вероятности ошибки более чем на пять порядков.

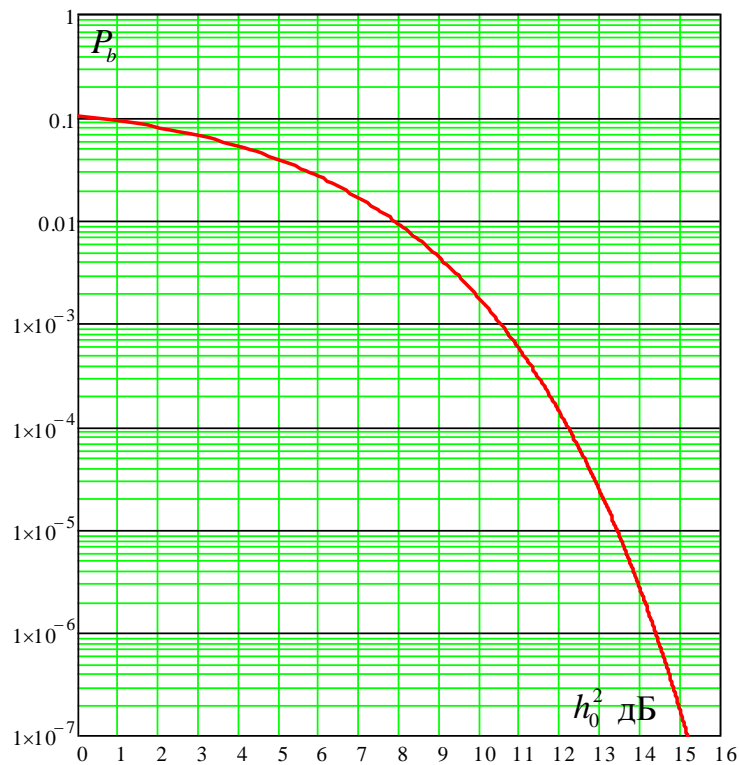


Рис. 1. Вероятность битовой ошибки для сигнала КАМ-16 в зависимости от ОСШ

Таким образом, можно заключить, что высокая пропускная способность каналов с КАМ-16 нивелируется их достаточно низкой, по отношению к сигналам КАМ-2, помехоустойчивостью (в 7,243 раз). Следовательно, необходим поиск продуктивных подходов к повышению помехоустойчивости приема сигналов КАМ-16.

### Синтез сигналов КАМ-16 с использованием гексагональных структур

Другое направление, позволяющее улучшить свойства помехоустойчивости сигнальных конструкций КАМ, связано с использованием гексагональных структур [7]. Их свойства и физические особенности рассмотрены в работе [22]. Сущность гексагональных структур основана на обеспечении значений минимального евклидова расстояния (МЕР) между любыми точками на фазовой плоскости. В качестве примера на рис. 2 представлена гексагональная структура сигнала КАМ-4.

На рис. 2  $Q_A, Q_B, Q_C, Q_D$  и  $I_A, I_B, I_C, I_D$  – амплитудные значения формирующих напряжений в синфазном и квадратурном каналах, аналогично соответствующим значениям  $(a_k, b_k)$  в формуле (10), но для четырех позиционной сигнальной конструкции, то есть:

$$\{a_k, b_k\} = \begin{bmatrix} (-1, 1) & (1, 1) \\ (-1, -1) & (1, -1) \end{bmatrix}.$$

Тогда, в соответствии с рассмотренным ранее подходом, синтез гексагональной структуры возможен путем определения следующего набора амплитудных значений параметров каналов  $Q$  и  $I$ :

$$\{a_k, b_k\} = \begin{bmatrix} \left( -\frac{\sqrt{6}}{2}, \frac{\sqrt{6}}{2} \right) & \left( \frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \\ \left( -\frac{\sqrt{2}}{2}, -\frac{\sqrt{2}}{2} \right) & \left( \frac{\sqrt{6}}{2}, -\frac{\sqrt{6}}{2} \right) \end{bmatrix}. \quad (12)$$

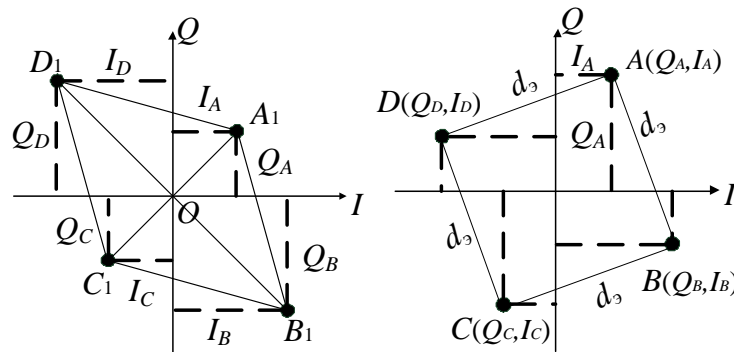


Рис. 2. Сигнальное созвездие КАМ-4: на основе гексагональной структуры (слева); с уникальными координатами (справа)

Синтез сигналов большей размерности, то есть с более высокой позиционностью, на основе гексагональных структур возможен путем дополнительного наращивания конструкций при сохранении значений МЕР между соседними точками.

Формы допустимых двумерных гексагональных сигнальных конструкций (ГЕКС-М) рассмотрены в работе [22]. Очевидно, что для практики интересным является способ формирования ГЕКС-структур, представленный в работах [6, 23]. В нем для формирования сигнальных конструкций в каждом из квадрантов используется первичная решетка, аналогично представленной на рис. 2. Амплитудные коэффициенты этих решеток выступают в качестве формирующих значений в выражении (12). Но, учитывая, что структура сигналов КАМ-16 имеет фазовые центры в каждом из четырех квадрантов плоскости, образованной осями  $Q$  и  $I$ , то указанные процедуры по структуризации ГЕКС-решетки непосредственно в указанных квадрантах, условные центры которых  $O_i, i = 1, \dots, 4$ , будут определяться как:

$$O_i(a_k, b_k) = \begin{cases} (-2, 2) & \text{if } i = 1; \\ (2, 2) & \text{if } i = 2; \\ (2, -2) & \text{if } i = 3; \\ (-2, -2) & \text{if } i = 4. \end{cases}$$

На рис. 3 представлена сигнальная конструкция предлагаемого ГЕКС-сигнала КАМ-16 на фоне созвездия для сигнала по стандарту *MIL-STD-118-110 V.29*.

Следует отметить, что предлагаемая ГЕКС-структура сигнала КАМ-16 проигрывает традиционным сигналам по показателю пик-фактора примерно на 17,3 %, что ожидаемо, поскольку формируемые на ее основе ромбы изначально уступают по этому показателю квадратам традиционных решеток [24, 25]. Но, несмотря на это, результирующее значение средней энергии обеспечивает выигрыш на 10 %.

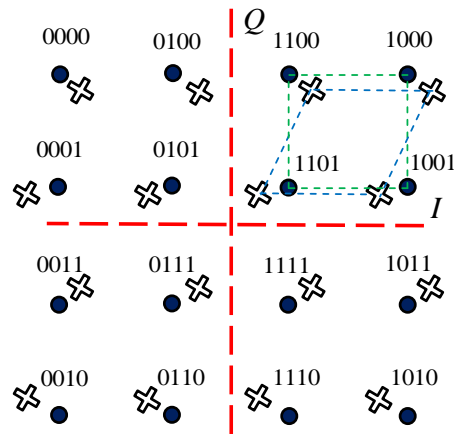


Рис. 3. Сигнальные конструкции КАМ-16 по стандарту *MIL-STD-118-110 V.29* на основе традиционных решеток (круглые точки сигнального созвездия) и предлагаемой ГЕКС-структуры (крестообразные точки сигнального созвездия)

Полученные значения позволяют, используя выражение (11), построить функцию вероятности, характеризующую битовую ошибку для разработанной ГЕКС-структуры  $\bar{P}_b(h_0^2)$  от ОСШ (рис. 4).

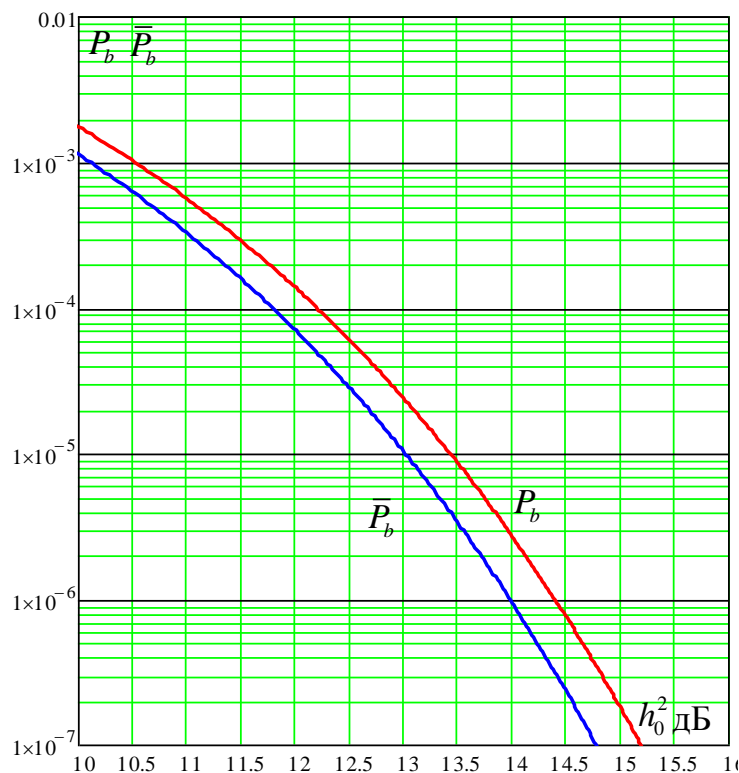


Рис. 4. Вероятность битовой ошибки для сигнальных конструкций КАМ-16 на основе предложенной ГЕКС-структуры и квадратной решетки

Полученные на рис. 4 результаты позволяют судить о повышении общей помехоустойчивости приема примерно на 0,5 дБ (т.е. порядка 13%) при вероятности битовой ошибки, равной  $\bar{P}_b = 10^{-7}$ .

Кроме того, можно предположить, что процедуры по дополнительной трансформации ГЕКС-сигналов, направленные на получение индивидуальных координат каждой точки сигнального созвездия, обеспечат возрастание помехоустойчивости еще где-то на 4 дБ.

По результатам проведенного исследования можно констатировать, что применение ГЕКС-структур для синтеза сигналов КАМ является перспективным направлением развития в повышении помехоустойчивого приема [26], в том числе при их реализации в портативных радиостанциях, используемых для организации радиосвязи в подразделениях МЧС России [27].

### Заключение

Полученные результаты являются одним из направлений развития связи в задачах МЧС России, сформулированных в работе [2]. Представленный подход, основанный на переходе к гексагональным конструкциям, используемых для формирования сигналов КАМ-16, интересен еще и тем, что может быть положен в основу синтеза более сложных сигналов, в частности КАМ-64, КАМ-256. По мнению авторов, это позволит повысить эффективность и качество связи подразделений спасательных служб, необходимость которой неоднократно затрагивалась научной общественностью [28, 29].

Обоснованный теоритический выигрыш на уровне до 0,5 дБ (порядка 13 %) при вероятности битовой ошибки  $\bar{P}_b = 10^{-7}$  для сигналов КАМ-16 эквивалентен увеличению дальности связи на 5–7%, что является существенным при работе в зоне бедствий в районах с поврежденной и нарушенной инфокоммуникационной структурой.

Дальнейшее исследование авторы связывают с применением методов совместной частотно-временной обработки сигналов, в том числе и с применением широкополосных технологий в соответствии с методологической основой, предложенной в работе [30].

### Список источников

1. Назаров Е.А., Плаксицкий А.Б. Анализ оборудования, обеспечивающего устойчивое функционирование системы связи главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2017. Т. 1. С. 131–137.
2. Макаров В.В., Блатова Т.А. Роль системы связи в выполнении основных задач МЧС России // Экономика и качество систем связи. 2022. № 1 (23). С. 3–13.
3. Система радиосвязи в МЧС России / С.В. Пацук [и др.] // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2022. № 2 (12). С. 41–49.
4. Одоевский С.М., Василевич Е.В. Особенности построения информационной системы обеспечения беспроводной связью органов управления МЧС // Проблемы управления рисками в техносфере. 2008. № 4 (8). С. 149–156.
5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. для вузов. СПб.: Питер, 2002. 608 с.
6. Теоретические положения повышения помехоустойчивости сигнально-кодовых конструкций квадратурных сигналов / С.В. Дворников [и др.] // Информация и космос. 2015. № 3. С. 13–16.
7. Савищенко Н.В. Сравнительный анализ помехоустойчивости когерентного приема сигналов КАМ-16 и КАМ-32 на основе точечных соотношений // Информация и космос. 2007. № 3. С. 91–102.
8. Повышение помехоустойчивости сигналов КАМ-16 с трансформированными созвездиями / С.В. Дворников [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. 2014. № 2. С. 51–56.
9. Сидельников Г.М. Помехоустойчивость демодулятора сигнала КАМ-16 при трансформации границ сигнального созвездия в канале с многолучевостью // Вестник Новгородского государственного университета. 2021. № 2 (123). С. 76–81.
10. Методика трансформации сигнального созвездия сигнала КАМ-16 с изменением его формы / А.Ю. Гужва [и др.] // Электросвязь. 2015. № 2. С. 28–31.

11. Довбня В.Г., Коптев Д.С. Влияние качества функционирования гетеродинов на помехоустойчивость приема сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией // Радиотехника. 2020. Т. 84. № 9 (17). С. 40–48.
12. Дворников С.В. Демодуляция сигналов на основе обработки их модифицированных частотно-временных распределений // Цифровая обработка сигналов. 2009. № 2. С. 7–11.
13. Xu Zhang. A Thesis entitled Modeling & Performance Analysis of QAM-based COFDM System. Submitted to the Graduate Faculty as partial fulfillment of the requirements for the Master of Science Degree in Electrical Engineering. University of Toledo. August. 2011.
14. Демодуляция сигналов на основе обработки их модифицированных распределений / С.В. Дворников [и др.] // Контроль. Диагностика. 2010. № 10. С. 46–54.
15. Маслаков М.Л., Терновая А.К. Построение плотности распределения вероятностей КАМ сигналов // Цифровая обработка сигналов. 2021. № 3. С. 36–40.
16. Signal mapping for bit-interleaved coded modulation schemes to achieve secure communications / W. Xiang [et al.] // IEEE Wireless Communications Letters. 2015. Т. 4. № 3. С. 249–252.
17. Рабин А.В. Совместное применение ортогонального кодирования и квадратурной амплитудной модуляции // Успехи современной радиоэлектроники. 2020. Т. 74. № 9. С. 44–52.
18. Tanash I.M.; Riihonen T. Improved coefficients for the Karagiannidis–Lioumpas approximations and bounds to the Gaussian Q-function. IEEE Communications Letters. 2021. № 25 (5). P. 1468–1471.
19. Дворников С.В., Пшеничников А.В., Манаенко С.С. Помехоустойчивая модель сигнала КАМ-16 с трансформированным созвездием // Информационные технологии. 2015. Т. 21. № 9. С. 685–689.
20. Куликов Г.В., Нестеров А.В., Лелюх А.А. Помехоустойчивость приема сигналов с квадратурной амплитудной манипуляцией в присутствии гармонической помехи // Журнал радиоэлектроники 2018 № 11. DOI: 10.30898/1684-1719.2018.11.9.
21. Демодуляция сигналов на основе обработки их модифицированных распределений / С.В. Дворников [и др.] // Контроль. Диагностика. 2010. № 10. С. 46–54.
22. Бураченко Д.Л., Савищенко Н.В. Геометрические модели сигнально-кодовых конструкций. 2-е изд. СПб.: ВАС, 2020. 390 с.
23. Дворников С.В., Пшеничников А.В., Бурыкин Д.А. Структурно-функциональная модель сигнального созвездия с повышенной помехоустойчивостью // Информация и космос. 2015. № 2. С. 4–7.
24. Горгадзе С.Ф., Максимов А.А. Модели регрессии на основе ряда Вольтерры и исследование нелинейных искажений сигналов с большим пик-фактором // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2021. Т. 12. № 1. С. 13–21.
25. Вишняков М.Г., Морозов К.Ю. Экспериментальные исследования энергетических и информационных характеристик сигналов стандарта DRM со сниженным пик-фактором // Радиотехника. 2021. Т. 85. № 7. С. 28–34.
26. Крячко А.Ф., Пантенков А.П., Силаков Д.М. Методы повышения помехоустойчивости приема сообщений в радиотехнических системах телеуправления и контроля // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2007. Т. 50. № 5. С. 47–54.
27. Антенная система мониторинга объектов МЧС с энергетической оптимизацией обработки сигналов / А.Т. Зелененко [и др.] // Технологии гражданской безопасности. 2010. Т. 7. № 3 (25). С. 112–117.
28. Лисихин Н.Е. Направление развития структуры подразделений связи спасательных воинских формирований в современных условиях // Приоритетные направления развития инфокоммуникационных технологий, систем связи и оповещения



РСЧС и ГО: сб. трудов секции № 12 XXXII Междунар. науч.-практ. конф. Химки, 2022. С. 4–8.

29. Рекунов С., Львова Ю., Ульяновский А. Обеспечение связи в экстремальных условиях // Гражданская защита. 2020. № 2 (534). С. 35–37.

30. Панько С.П. Исследование и разработка радиотехнических систем извлечения информации, основанных на сверхширокополосных сигналах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Красноярск, 1995. 48 с.

### References

1. Nazarov E.A., Plaksickij A.B. Analiz oborudovaniya, obespechivayushchego ustojchivoe funkcionirovanie sistemy svyazi glavnogo upravleniya MCHS Rossii po sub"ektu Rossijskoj Federacii // Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij. 2017. T. 1. S. 131–137.

2. Makarov V.V., Blatova T.A. Rol' sistemy svyazi v vypolnenii osnovnyh zadach MCHS Rossii // Ekonomika i kachestvo sistem svyazi. 2022. № 1 (23). S. 3–13.

3. Sistema radiosvyazi v MCHS Rossii / S.V. Pacuk [i dr.] // Aktual'nye voprosy pozharnoj bezopasnosti. 2022. № 2 (12). S. 41–49.

4. Odovskij S.M., Vasilevich E.V. Osobennosti postroeniya informacionnoj sistemy obespecheniya besprovodnoj svyaz'yu organov upravleniya MCHS // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2008. № 4 (8). S. 149–156.

5. Sergienko A.B. Cifrovaya obrabotka signalov: ucheb. dlya vuzov. SPb.: Piter, 2002. 608 s.

6. Teoreticheskie polozheniya povysheniya pomekhustojchivosti signal'no-kodovyh konstrukcij kvadratnyh signalov / S.V. Dvornikov [i dr.] // Informaciya i kosmos. 2015. № 3. S. 13–16.

7. Savishchenko N.V. Sravnitel'nyj analiz pomekhustojchivosti kogerentnogo priema signalov KAM-16 i KAM-32 na osnove tochechnykh sootnoshenij // Informaciya i kosmos. 2007. № 3. S. 91–102.

8. Povysenie pomekhustojchivosti signalov KAM-16 s transformirovannymi sozvezdiyami / S.V. Dvornikov [i dr.] // Voprosy radioelektroniki. Ser.: Tekhnika televideniya. 2014. № 2. S. 51–56.

9. Sidel'nikov G.M. Pomekhustojchivost' demodulyatora signala KAM-16 pri transformacii granic signal'nogo sozvezdiya v kanale s mnogoluchevost'yu // Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. 2021. № 2 (123). S. 76–81.

10. Metodika transformacii signal'nogo sozvezdiya signala KAM-16 s izmeneniem ego formy / A.Yu. Guzhva [i dr.] // Elektrosvyaz'. 2015. № 2. S. 28–31.

11. Dovbnya V.G., Koptev D.S. Vliyanie kachestva funkcionirovaniya geterodinov na pomekhustojchivost' priema signalov s kvadratnoy amplitudnoj modulyaciej // Radiotekhnika. 2020. T. 84. № 9 (17). S. 40–48.

12. Dvornikov S.V. Demodulyaciya signalov na osnove obrabotki ih modificirovannyh chastotno-vremennyh raspredelenij // Cifrovaya obrabotka signalov. 2009. № 2. S. 7–11.

13. Xu Zhang. A Thesis entitled Modeling & Performance Analysis of QAM-based COFDM System. Submitted to the Graduate Faculty as partial fulfillment of the requirements for the Master of Science Degree in Electrical Engineering. University of Toledo. August. 2011.

14. Demodulyaciya signalov na osnove obrabotki ih modificirovannyh raspredelenij / S.V. Dvornikov [i dr.] // Kontrol'. Diagnostika. 2010. № 10. S. 46–54.

15. Maslakov M.L., Ternovaya A.K. Postroenie plotnosti raspredeleniya veroyatnostej KAM signalov // Cifrovaya obrabotka signalov. 2021. № 3. S. 36–40.

16. Xiang W., Le Goff S., Johnston M., Cumanan K. Signal mapping for bit-interleaved coded modulation schemes to achieve secure communications / W. Xiang [et al.] // *IEEE Wireless Communications Letters*. 2015. Т. 4. № 3. S. 249–252.
17. Rabin A.V. Sovmestnoe primeneniye ortogonal'nogo kodirovaniya i kvadratnoy amplitudnoy modulyacii // *Uspekhi sovremennoj radioelektroniki*. 2020. Т. 74. № 9. S. 44–52.
18. Tanash I.M.; Riihonen T. Improved coefficients for the Karagiannidis–Lioumpas approximations and bounds to the Gaussian Q-function. *IEEE Communications Letters*. 2021. № 25 (5). 1468–1471.
19. Dvornikov S.V., Pshenichnikov A.V., Manaenko S.S. Pomekhoustojchivaya model' signala KAM-16 s transformirovannym sozvezdiem // *Informacionnye tekhnologii*. 2015. Т. 21. № 9. S. 685–689.
20. Kulikov G.V., Nesterov A.V., Lelyuh A.A. Pomekhoustojchivost' priema signalov s kvadratnoy amplitudnoy manipulyaciej v prisutstvii garmonicheskoy pomekhi // *Zhurnal radioelektroniki* 2018 № 11. DOI: 10.30898/1684-1719.2018.11.9.
21. Demodulyaciya signalov na osnove obrabotki ih modifitsirovannyh raspredelenij / S.V. Dvornikov [i dr.] // *Kontrol'. Diagnostika*. 2010. № 10. S. 46–54.
22. Burachenko D.L., Savishchenko N.V. Geometricheskie modeli signal'no-kodovyh konstrukcij. 2-e. izd. SPb.: VAS, 2020. 390 s.
23. Dvornikov S.V., Pshenichnikov A.V., Burykin D.A. Strukturno-funkcional'naya model' signal'nogo sozvezdiya s povyshennoj pomekhoustojchivost'yu // *Informaciya i kosmos*. 2015. № 2. S. 4–7.
24. Gorgadze S.F., Maksimov A.A. Modeli regressii na osnove ryada Vol'terry i issledovanie nelinejnyh iskazhenij signalov s bol'shim pik-faktorom // *Sistemy sinhronizacii, formirovaniya i obrabotki signalov*. 2021. Т. 12. № 1. S. 13–21.
25. Vishnyakov M.G., Morozov K.Yu. Eksperimental'nye issledovaniya energeticheskix i informacionnyh harakteristik signalov standarta DRM so snizhennym pik-faktorom // *Radiotekhnika*. 2021. Т. 85. № 7. S. 28–34.
26. Kryachko A.F., Pantenkov A.P., Silakov D.M. Metody povysheniya pomekhoustojchivosti priema soobshchenij v radiotekhnicheskix sistemah teleupravleniya i kontrolya // *Izvestiya vysshix uchebnyh zavedenij. Radioelektronika*. 2007. Т. 50. № 5. S. 47–54.
27. Antennaya sistema monitoringa ob"ektov MCHS s energeticheskoy optimizaciej obrabotki signalov / A.T. Zelenenko [i dr.] // *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*. 2010. Т. 7. № 3 (25). S. 112–117.
28. Lisihin N.E. Napravlenie razvitiya struktury podrazdelenij svyazi spasatel'nyh voinskih formirovanij v sovremennyh usloviyah // *Prioritetnye napravleniya razvitiya infokommunikacionnyh tekhnologij, sistem svyazi i opoveshcheniya RSCHS i GO: sb. trudov sekcii № 12 HKHXII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Himki, 2022*. S. 4–8.
29. Rekunov S., L'vova Yu., Ul'yanovskij A. Obespechenie svyazi v ekstremal'nyh usloviyah // *Grazhdanskaya zashchita*. 2020. № 2 (534). S. 35–37.
30. Pan'ko S.P. Issledovanie i razrabotka radiotekhnicheskix sistem izvlecheniya informacii, osnovannyh na sverhshirokopolosnyh signalah: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. Krasnoyarsk, 1995. 48 s.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 06.06.2022; одобрена после рецензирования: 08.07.2022;  
принята к публикации: 11.07.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 06.06.2022; approved after review: 08.07.2022;  
accepted for publication: 11.07.2022

*Информация об авторах:*

**Сергей Викторович Дворников**, профессор кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов (кафедра 21) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67); профессор кафедры радиосвязи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3), доктор технических наук, профессор, e-mail: [practicdsv@yandex.ru](mailto:practicdsv@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>

**Сергей Алексеевич Якушенко**, доцент кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов (Кафедра 21) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения» (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67); старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [was16@mail.ru](mailto:was16@mail.ru)

**Артемий Юрьевич Жданов**, бакалавр Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67), e-mail: [artemichzdanov@gmail.com](mailto:artemichzdanov@gmail.com)

*Information about authors:*

**Sergey V. Dvornikov**, professor of the department of radio engineering and optoelectronic complexes (department 21) Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya st., 67); professor of the department of radio communications of the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky pr., 3), doctor of technical sciences, professor, e-mail: [practicdsv@yandex.ru](mailto:practicdsv@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>

**Sergey A. Yakushenko**, associate professor associate professor of the department of radio engineering and optoelectronic complexes (department 21) Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya st., 67); senior researcher of the research center of the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky pr., 3), candidate of technical sciences, e-mail: [was16@mail.ru](mailto:was16@mail.ru)

**Artemy Yu. Zhdanov**, bachelor Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya st., 67), e-mail: [artemichzdanov@gmail.com](mailto:artemichzdanov@gmail.com)

УДК 65.012

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА, ОСНОВАННОГО НА ГРАФОВОЙ АНАЛИТИКЕ, К ИССЛЕДОВАНИЮ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**Владимир Николаевич Наумов.**

**Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Северо-Западный институт управления – филиал РАНХиГС), Санкт-Петербург, Россия.**

**Михаил Викторович Буйневич**✉;

**Анна Дмитриевна Стрелец.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**

✉[bmv1958@yandex.ru](mailto:bmv1958@yandex.ru)

*Аннотация.* Проанализированы возможности использования процессного подхода к исследованию организационных систем. Указано, что он не является альтернативой функционального подхода, а улучшает возможности описания, анализа и преобразования организационных систем. Предложено использование различных ракурсов в процессном описании и их синтез с целью получения матриц расстояния между однотипными элементами организационной системы и использования данных матриц для нахождения похожих элементов организационной структуры с целью ее преобразования. Рассмотрена возможность использования методов и инструментов графовой аналитики для исследования бизнес-процессов, ее интеграции с методами process-mining. В доказательство проведен эксперимент комплексного исследования бизнес-процесса организационной системы методами process-mining и графовой аналитики

*Ключевые слова:* организационные системы, процессный подход, process science, process-mining, двудольные графы, графовый анализ, многомерное шкалирование, марковские цепи

**Для цитирования:** Наумов В.Н., Буйневич М.В., Стрелец А.Д. Анализ применимости процессного подхода, основанного на графовой аналитике, к исследованию организационных систем // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 89–101.

## **APPLICABILITY ANALYSYS OF THE PROCESS APPROACH, BASED ON GRAPH ANALYTICS, TO ORGANIZATIONAL SYSTEMS STUDY**

**Vladimir N. Naumov.**

**Russian Presidential academy of national economy and public administration**

**(North-Western institute of management – Branch of RANEPA), Saint-Petersburg, Russia.**

**Mikhail V. Buinevich**✉;

**Anna D. Strelets.**

**Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,**

**Saint-Petersburg, Russia**

✉[bmv1958@yandex.ru](mailto:bmv1958@yandex.ru)

*Abstract.* The possibilities of using the process approach to organizational systems study are analyzed. It is indicated that it is not an alternative to the functional approach, but improves the possibilities of organizational systems description, analysis and transformation. The use of different perspectives in the process description and their synthesis in order to obtain distance matrices between similar elements of the organizational system and use these matrices

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

to find similar elements of the organizational structure in order to transform it are proposed. The possibility of using methods and tools of graph analytics for the study of business processes, its integration with process-mining methods is considered. The experiment of a comprehensive study of the business process of the organizational system by process-mining and graph analytics methods was conducted as a proof of it.

**Keywords:** organizational systems, process approach, process science, process-mining, bipartite graphs, graph analysis, multidimensional scaling, markov chains

**For citation:** Naumov V.N., Buinevich M.V., Strelets A.D. Applicability analysis of the process approach, Based on graph analytics, to organizational systems study // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 89–101.

## Введение

Процессный подход к управлению, основанный на том, что деятельность любой организации, любой организационной системы рассматривается как совокупность процессов (основных, вспомогательных, обеспечивающих, управляющих), представляет собой современную концепцию менеджмента. Предполагается, что каждый процесс имеет результаты, которые можно оценить и использовать для его дальнейшего совершенства. Следует привести цитату авторов монографии М. Хаммера и Д. Чампи «... Не товары, а процессы их создания приносят компаниям долгосрочный успех» [1]. Современные международные стандарты менеджмента, программной и системной инженерии, такие как ISO/IEC-9000-2015 [2], ISO/IEC 12207 [3], ISO/IEC-15288 [4] – основаны на процессном подходе. В них перечислены процессы, выполнена их систематизация. Разработана теория процессов (process science), которая объединяет знания из области информационных технологий и области менеджмента с целью улучшения управления операционными процессами.

Данный подход предполагает, что существует совокупность отдельных действий (активностей, событий) – бизнес-процессов, направленных на создание продукта или услуги, которая может быть представлена моделью. В свою очередь, свойство повторяемости приводит к понятию экземпляров-кейсов бизнес-процессов, которые можно исследовать и документировать, создавая логи, протоколы, каждая строка которых корреспондируется как событие, упорядоченное во времени. Для их исследования применяются теория и методы process-mining [5, 6]. Эта теория, по словам профессора Уила ван дер Алста (Wil van der Aalst), является «мостом между наукой о данных и наукой о процессах, между интеллектуальным анализом данных и анализом бизнес-процессов» [5].

Предполагается, что жизненный цикл менеджмента бизнес-процессов (Business Process Management, BPM), направленный на повышение их эффективности, включает фазы анализа, диагностики, корректуры, реконфигурации и перепроектирования. Различают три вида задач process-mining: описание (process discovery), улучшение (process enhancement) и контроль процессов (conformance checking). В настоящее время существует большое количество методов, позволяющих решить данные задачи. Многие из них основаны на представлении процессов в виде диаграмм (сетей Петри, BPMN-моделей, WorkFlow-диаграмм, EPC-моделей, скрытых марковских цепей, спагетти-диаграмм и др.). Все они являются разными формами графов с вершинами: событиями, активностями, шлюзами и, следовательно, могут быть исследованы методами теории графов.

Отметим, что процессный подход является альтернативой функциональному, основанному на том, что деятельность любой организационной системы представляется функциональной моделью. Такая модель представляет собой иерархическую взаимосвязь функций, задач и организационных единиц системы. Несмотря на критику такого подхода, в книге М. Хаммера и Д. Чампи говорится, что «автоматизация имеющихся процессов с помощью информационных технологий аналогична мощению коровьих троп. ... Реинжиниринг (же – авт.) – это поиск *новых* моделей организации работы» [1]. Таким

образом, проблема не в переходе от функционального к процессному моделированию, а в совершенствовании существующих моделей с учетом позитивных элементов процессного и функционального подходов. Необходимо найти пути для извлечения позитивного каждого из подходов и их конвергенции.

В работе [7] авторами был предложен унифицированный подход к исследованию структур организационных систем, основанный на использовании методов теории графов и кластерного анализа. В этой статье рассмотрены не свойства отдельных элементов структуры, а их взаимосвязь, что является предметом графовой аналитики [8]. Были рассмотрены организационная и процессная страты описания системы. В настоящей статье предложено расширить его и на другие страты. Отметим, что именно связи между элементами являются системообразующими, позволяют формировать их новые, системные свойства, обеспечить целостность системы. Кроме того, именно структура позволяет использовать архитектурный подход к проектированию, применить существующие фреймворки.

Для этого может быть использована событийная парадигма, которая традиционно используется в логах, формируемых информационными системами, а также в методах описания и исследования бизнес-процессов. Так как под событием можно понимать любое изменение состояния, то его можно рассматривать как инвариант при рассмотрении различных страт: процессной, организационной, функциональной, ролевой, продуктовой и др. Аналогом в process-mining является понятие ракурса-точки зрения на процесс. Разные ракурсы гипотетически позволят по-разному описать, а затем исследовать, улучшать или контролировать бизнес-процессы. В этом случае любая модель описания, любая страта может быть описана графом:

$$G = \langle X, R \rangle, \quad (1)$$

где  $X$  представляет собой множество событий;  $R$  – отношение нестрогого порядка (следования) между ними, который определяется временной упорядоченностью событий.

В этом случае графы, а также методы графового анализа становятся промежуточным языком описания, связывающим системную инженерию, теорию случайных процессов, process-mining, data mining, process science при исследовании сложных систем. Это позволяет реализовать парадигму моделирования систем – системной инженерии на основе моделей (от *англ.* model based systems engineering, MBSE) [9, 10]. В [11] предлагается использовать нотации и диаграммы предметно-ориентированного языка моделирования систем SysML (*аббр. от англ.* Systems Modeling Language) [12] и объектно-процессной методологии OPL (*аббр. от англ.* Open Programming Language) [13]. Несмотря на большие возможности данных средств, позволяющие построить модели сложных систем, они ориентированы на их описание. Результатом моделирования является множество диаграмм, а не какие-либо количественные оценки, что на взгляд авторов не соответствует главной идее системного анализа – идее «формализованного здравого смысла».

Графовый анализ, большое число показателей графов, существующие методы их расчета, разработанные алгоритмы и инструментальные средства позволяют определять важность элементов, находить сообщества, определять близость, центральность и др. В языках аналитики Python, R существуют специальные модули (пакеты), например, *igraph*, *network*, которые будут использованы в дальнейших исследованиях [14].

С учетом вышеизложенного следует проанализировать применимость процессного подхода, основанного на графовой аналитике, к исследованию (в том числе количественному) организационных систем, что и является целью настоящей статьи.

### Методы и инструменты

Для упрощения понимания сути используемых в дальнейшем методов и инструментов решим упрощенную задачу описания некой организационной системы. Предположим, что

необходимо описать бизнес-процессы в образовательном учреждении. Пусть решаются задачи оформления документов абитуриентов для поступления; предполагается, что имеются три подразделения, участвующие в данном бизнес-процессе. В этих подразделениях предусмотрено шесть ролей, которые будем обозначать  $user_1$ – $user_6$ . Данные роли предусмотрены для выполнения семи типовых активностей  $p_1$ – $p_7$ , связанных с регистрацией абитуриента, выполнением проверки его документов, проведением дополнительных консультаций различными специалистами, оформлением договора и согласия на поступление. Рассмотрим только один бизнес-процесс, события (активности) которого регистрируются в логе. Его фрагмент приведен в табл. 1. Данный лог содержит только семь экземпляров бизнес-процесса и отчасти является синтетическим. Отметим, что каждый экземпляр является одной реализацией случайного бизнес-процесса. Он может быть реализован по-разному, имеет разные события, разные траектории. Возможны особые ситуации, ошибки, циклы, эскалации и др.

Таблица 1. Фрагмент лога экземпляров процесса

Case Id	activity	Timestamp	User	Dep	Case Id	activity	Timestamp	User	Dep
$f_1$	$p_1$	11.07.2022 13:00	$u_1$	$dep_1$	$f_2$	$p_1$	14.07.2022 13:40	$u_1$	$dep_1$
$f_1$	$p_2$	11.07.2022 13:40	$u_2$	$dep_1$	$f_2$	$p_2$	14.07.2022 14:00	$u_2$	$dep_1$
$f_1$	$p_3$	11.07.2022 14:00	$u_3$	$dep_2$	$f_2$	$p_4$	15.07.2022 10:00	$u_1$	$dep_1$
$f_1$	$p_4$	12.07.2022 10:00	$u_1$	$dep_1$	$f_2$	$p_3$	15.07.2022 13:00	$u_3$	$dep_2$
$f_1$	$p_5$	12.07.2022 13:00	$u_4$	$dep_3$	$f_2$	$p_5$	15.07.2022 13:30	$u_4$	$dep_3$
$f_1$	$p_6$	12.07.2022 13:30	$u_5$	$dep_3$	$f_2$	$p_7$	16.07.2022 13:00	$u_6$	$dep_3$
$f_1$	$p_2$	13.07.2022 13:00	$u_5$	$dep_3$	$f_2$	$p_1$	16.07.2022 13:30	$u_1$	$dep_1$
$f_1$	$p_4$	13.07.2022 13:30	$u_1$	$dep_1$	$f_2$	$p_2$	16.07.2022 14:00	$u_2$	$dep_1$
$f_1$	$p_3$	13.07.2022 14:00	$u_3$	$dep_2$	$f_2$	$p_4$	16.07.2022 14:30	$u_1$	$dep_1$
$f_1$	$p_5$	13.07.2022 14:30	$u_4$	$dep_3$	$f_2$	$p_3$	17.07.2022 13:00	$u_3$	$dep_2$
$f_1$	$p_7$	14.07.2022 13:00	$u_6$	$dep_3$	$f_2$	$p_5$	17.07.2022 13:40	$u_1$	$dep_1$
•	•	•	•	•	$f_2$	$p_7$	17.07.2022 14:00	$u_6$	$dep_3$

Табл. 1 содержит столбец с номерами экземпляров исследуемого процесса (Case Id), названиями активностей в каждом из экземпляров (activity), ролей подразделения, которые выполняют данные активности (User), времени завершения – временной метки активности (Timestamp), подразделения (Dep), в состав которого входит соответствующая роль. На его основе с использованием alpha-алгоритма [15] построена сеть Петри, приведенная на рис. 1. Сеть построена с помощью программы ProM, позволяющей преобразовать лог к стандартному хес-формату, имеющему трехуровневую структуру с элементами log, trace и event, а также набор необязательных атрибутов, например ролей анализируемого процесса.

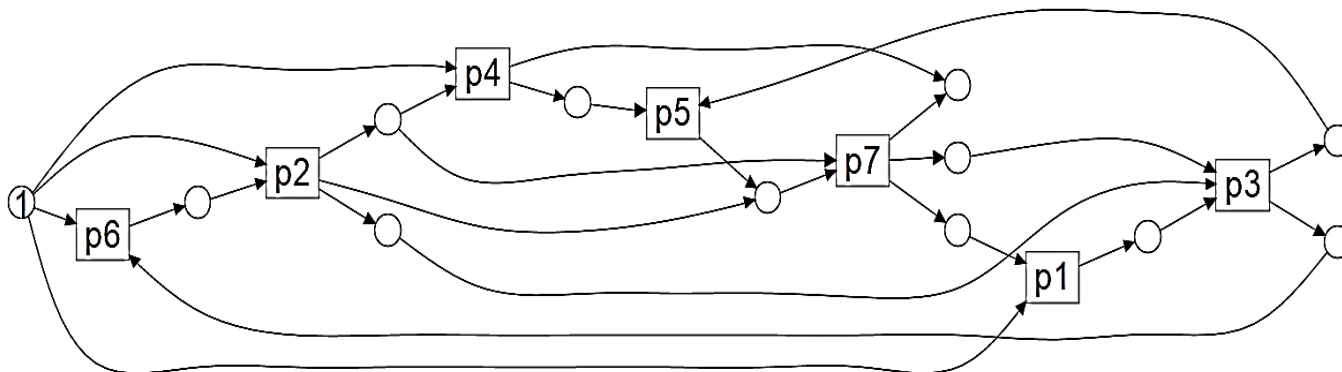


Рис. 1. Сеть Петри для бизнес-процесса

Сеть Петри содержит вершины двух типов: переходы и состояния. С переходами связаны активности, входящие в состав экземпляров анализируемого бизнес-процесса. С позициями ассоциируются события начала и завершения каждой активности, а также узлы синхронизации процесса. Такие сети изначально были предназначены для моделирования параллельных процессов, их синхронизации и исследования свойств [16]. Встроенный плагин BPMNConversions программного приложения Pro-M сети Петри позволяет построить BPMN-модель бизнес-процесса (рис. 2), а также разные виды графов, описывающих как процессную, так и функциональную структуры исследуемой системы [17].

Синтезированная BPMN-диаграмма содержит один подпроцесс, соединенный с событиями-полюсами «начало» и «конец» исследуемого процесса. Ее нотации включают три вида вершин: события, активности (действия, операции), а также шлюзы (логические операции). Такая диаграмма де-факто является стандартом описания и анализа бизнес-процессов, проста для понимания, используется во многих программных приложениях, в том числе для их анализа, диагностики, корректуры, реконфигурации, перепроектирования. Имеемые BPM-системы (например Bizagi-Modeler) по такой диаграмме, а также по известным законам распределения времени выполнения отдельных работ и вероятностям событий анализируемого процесса позволяют решить задачи имитационного моделирования бизнес-процессов организационных систем.

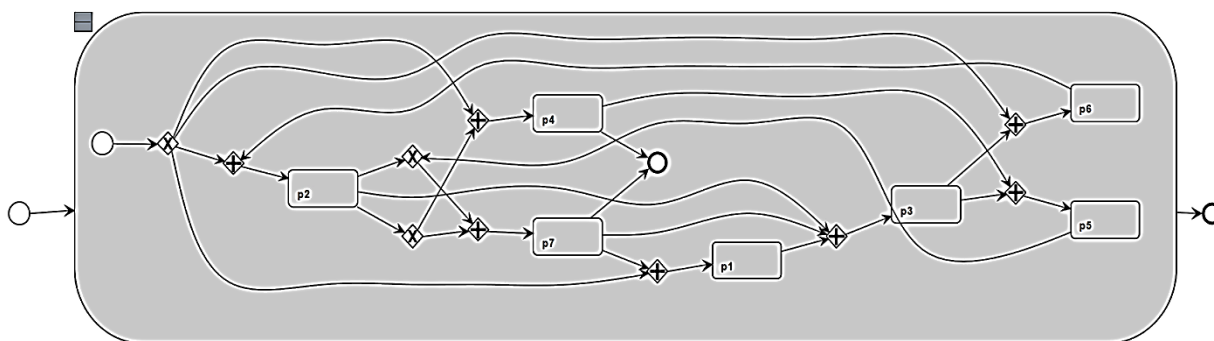


Рис. 2. BPMN-диаграмма анализируемого процесса

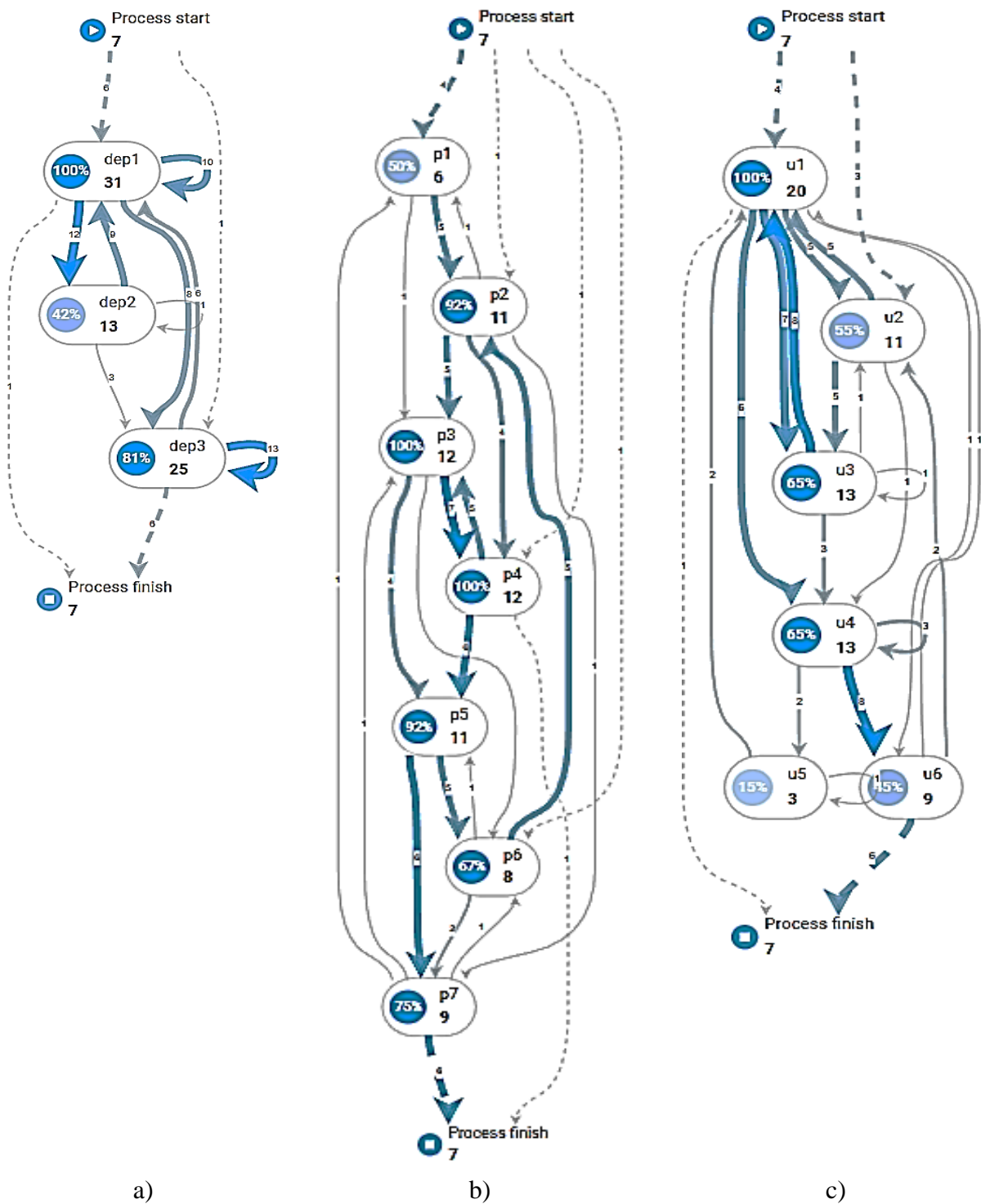
Приведенные диаграммы основаны на традиционном подходе к моделированию процессов, в котором его элементами являются отдельные активности (действия, операции). Если активности рассматривать как события, то аналогично можно говорить и о других типах событий: ролях процессов, подразделениях, участвующих в выполнении процесса. В этом случае следует говорить о разных ракурсах процесса: активностей, ролей, подразделений. Сценарии процесса в таких ракурсах, построенные с помощью программного приложения Promease, приведены на рис. 3.

Они представляют собой взвешенные графы:

$$\begin{aligned} G_1 &= \langle (Dep, Weight_{Dep}), (R_1, RW_{Dep}) \rangle; \\ G_2 &= \langle (Activity, Weight_{Activ}), (R_2, RW_{Activ}) \rangle; \\ G_3 &= \langle (User, Weight_{User}), (R_3, RW_{User}) \rangle, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $Dep$ ,  $Activity$ ,  $User$  – множества подразделений, активностей и ролей соответственно;  $Weight_{Dep}$ ,  $Weight_{Activ}$ ,  $Weight_{User}$  – веса вершин (относительных частот встречаемости событий в экземплярах процесса);  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  – отношения следования между вершинами графов;  $RW_{Dep}$ ,  $RW_{Activ}$ ,  $RW_{User}$  – веса дуг (частот встречаемости дуги в экземплярах процесса).





**Рис. 3. Карты бизнес-процесса для разных ракурсов:  
 а) подразделений (dep); б) активностей (p); в) ролей (u)**

На каждой из приведенных карт вершины взвешены относительной частотой событий в %. Толщина, а также веса дуг карт показывают частоту соответствующих связей между вершинами (подразделениями, активностями, ролями) во всех экземплярах анализируемого процесса. Данные диаграммы, а также вычисленные характеристики допускают использование методов графовой аналитики при исследовании организационных систем. Так, на рис. 4 приведены столбчатые диаграммы частот использования ролей (user) для каждой из активностей, полученные по результатам исследования логов и карт бизнес-процесса. Таким образом, методы и программные средства process mining позволяют решать многие задачи, возникающие в жизненном цикле менеджмента бизнес-процесса.

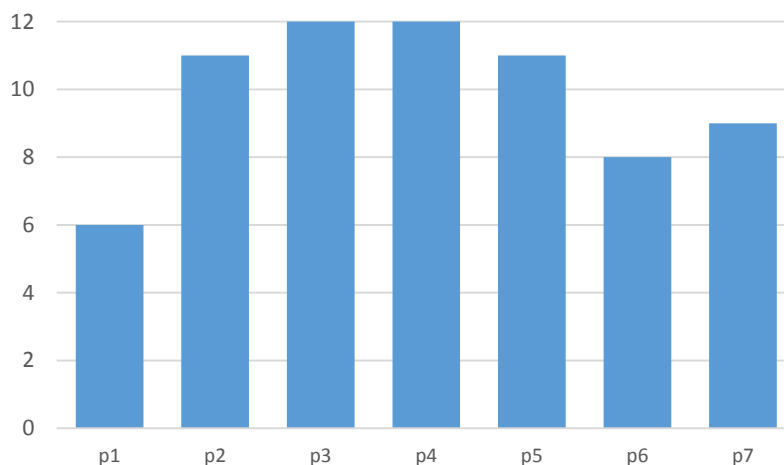


Рис. 4. Столбчатые диаграммы активностей

Применение методов графовой аналитики дает возможность сформулировать и решить новые задачи исследования организационных систем на основе использования процессного подхода, интеграции разных подходов, разных страт, разных ракурсов. Ниже предложены отдельные задачи такого исследования на примере рассматриваемого бизнес-процесса и его упрощенного лога, представленного в табл. 1.

### Результаты

Для дальнейшего исследования процесса в образовательном учреждении будем использовать группы графов двух видов: однодольные и двудольные. Первая группа графов имеет вид (1), где все вершины графа  $X_i$  относятся к одному типу событий для  $i$ -го ракурса. Они определяют взаимосвязь между однотипными вершинами в анализируемом случайном процессе и частоту перехода между состояниями. При допущении о том, что случайный процесс представляет собой эргодическую дискретную марковскую цепь, можно построить систему алгебраических уравнений вида:

$$P(E - \Pi) = 0,$$

где  $P$  – финальные вероятности нахождения случайного процесса в различных состояниях;  $\Pi$  – матрица вероятностей перехода случайного процесса за один шаг функционирования;  $E$  – единичная матрица.

С учетом уравнения нормировки можно найти вероятности (доли времени) нахождения бизнес-процесса в различных состояниях. Для рассматриваемых марковских цепей получены следующие значения:

$$\begin{aligned} Activity &= (0,07 \quad 0,16 \quad 0,15 \quad 0,16 \quad 0,14 \quad 0,17 \quad 0,15); \\ User &= (0,14 \quad 0,19 \quad 0,18 \quad 0,20 \quad 0,18 \quad 0,11). \end{aligned} \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что существует примерно одинаковая доля времени отдельных активностей и загруженностей ролей. В случае если известно время выполнения каждой активности или каждой роли (см. столбец Timestamp табл. 1), то вместо дискретной можно перейти к непрерывной марковской цепи. Это определяет возможность использования методов соответствующей теории для исследования бизнес-процессов по известным логам.

Вторая группа графов определяет взаимосвязь между вершинами разных карт бизнес-процесса, разных долей двудольных графов:

$$G_4 = \langle (Activity \cup User), R_4 \subset Activity \times User \rangle;$$

$$G_5 = \langle (Proc \cup User), R_5 \subset Proc \times User \rangle;$$

$$G_6 = \langle (Proc \cup Activity), R_6 \subset Proc \times Activity \rangle;$$

$$G_7 = \langle (Dep \cup User), R_7 \subset Dep \times User \rangle;$$

$$G_8 = \langle (Dep \cup Activity), R_8 \subset Dep \times Activity \rangle,$$

где  $Proc$  – множество экземпляров процесса;  $R_4$ – $R_8$  – отношения между компонентами двухдольных графов.

На рис. 5 приведены построенные двухдольные графы исследуемого бизнес-процесса.

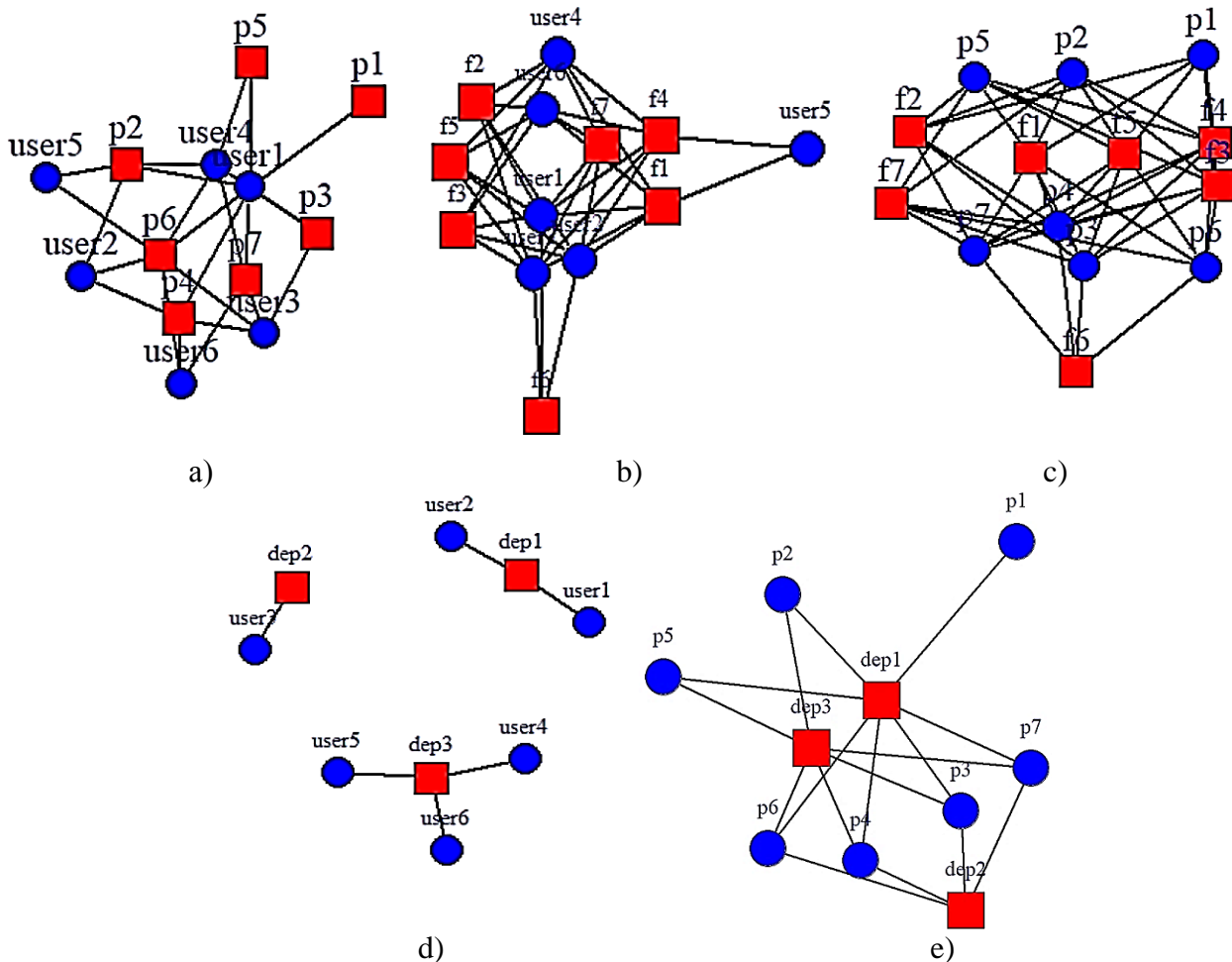


Рис. 5. Двухдольные графы элементов бизнес-процесса: а) активности-роли; б) экземпляры процесса-роли; в) экземпляры процесса-активности; д) подразделения-роли; е) подразделения-активности

Близость между двумя однотипными элементами, ролями, активностями, подразделениями, функциями можно определить с помощью соотношений:

$$sim_{ij} = \sqrt{\left( \sum_{k=1}^K l_{ijk}^2 \right)},$$

где  $l_{ijk}$  – показатели, определяющие близость между однотипными элементами  $i, j$  для  $k$  исследуемой характеристики;  $K$  – число анализируемых характеристик.

Так как частные показатели близости  $l_{ijk}$  могут иметь значения в разных диапазонах, выполним их нормализацию с помощью соотношения:

$$l_{ijk}^n = l_{ijk} / \max_{i,j} (l_{ijk}).$$

Для решения задачи многомерного шкалирования данные показатели близости должны быть заменены метриками расстояния между элементами, например, с помощью соотношения:

$$d_{ij} = 1 / (sim_{ij} + 1).$$

Единица в формуле выбрана для того, чтобы учесть ситуацию, при которой показатель близости между элементами равен нулю.

Наличие матрицы расстояний между элементами организационной системы позволяет использовать методы многомерного шкалирования для снижения размерности задачи, визуального восприятия близости элементов, определения их кластеров. В отличие от методов факторного анализа они разрешают не принимать допущения о нормальном законе распределения анализируемых признаков.

Для решения задачи многомерного шкалирования будем использовать метрические методы и целевую функцию стресса [18]:

$$s = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n (\delta_{ij} - d_{ij})^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $\delta_{ij}$  – воспроизведенное расстояние в пространстве заданной размерности;  $d_{ij}$  – наблюдаемые расстояния между элементами  $i, j$ .

Для визуализации результатов решения задачи многомерного шкалирования зададим размерность формируемого пространства, равным двум. На рис. 6, а также в табл. 2 приведены результаты решения задачи многомерного шкалирования для ролей и активностей, полученные с использованием программного приложения IBM SPSS statistics. Первый рисунок показывает, что активности  $p_3, p_4, p_5$  близки друг к другу и, возможно, должны выполняться одинаковыми ролями, в одном подразделении. Аналогично, второй рисунок показывает, что роли  $u_1, u_2, u_3$  также похожи между собой и, возможно, они должны войти в одно подразделение.

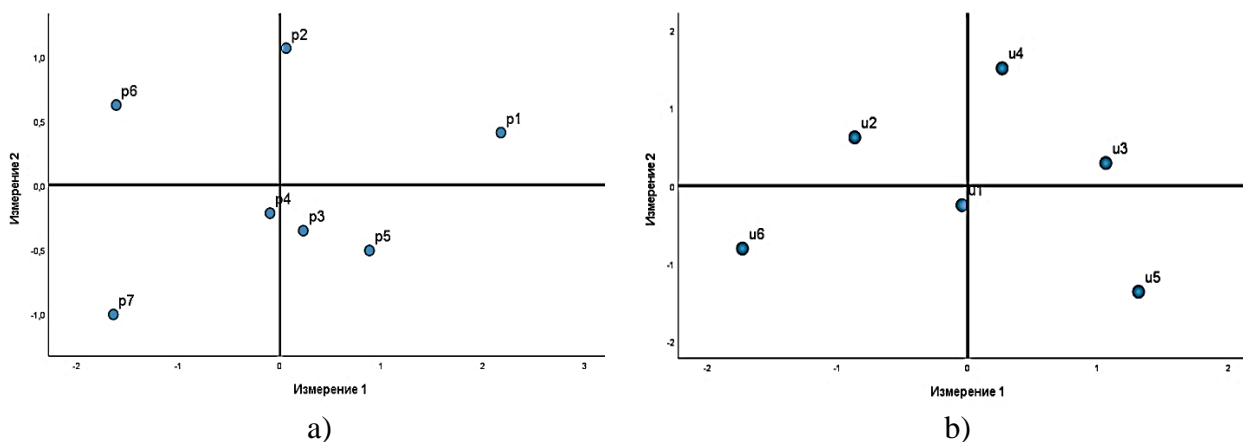


Рис. 6. Диаграмма расстояний между: а) активностями; б) ролями

Таблица 2. Значение координат активностей и ролей в новом пространстве

Активности	Измерение 1	Измерение 2	Роли	Измерение 1	Измерение 2
$p_1$	2,18	0,41	u1	-0,43	-0,25
$p_2$	0,61	1,06	u2	-0,87	0,62
$p_3$	0,23	-0,36	u3	1,06	0,29
$p_4$	-0,01	-0,22	u4	0,27	1,51
$p_5$	0,88	-0,51	u5	1,31	-1,37
$p_6$	-1,61	0,62	u6	-1,72	-0,81
$p_7$	-1,64	-1,01			

При решении задачи многомерного шкалирования в качестве исходных данных использована матрица расстояний между элементами, поэтому трудно интерпретировать измерения новых двумерных пространств. Если задача будет решена на основе использования значений анализируемых характеристик, то следует решить проблему интерпретации результатов многомерного шкалирования.

Показатели качества решения задач оптимизации (4) приведены в табл. 3. Сравнительно небольшие значения показателей стресса (Stress) и высокие значения коэффициента множественной детерминации ( $R^2$ ) свидетельствуют о хорошем качестве ее решения.

Таблица 3. Показатели качества решения задачи оптимизации

Вид задачи	Показатель Stress	Показатель качества, $R^2$
Роли процесса	0,16	0,90
Активности процесса	0,06	0,97

### Обсуждение

Полученные результаты показывают, что процессный подход при исследовании организационных систем соответствует общепринятой практике process science. С его помощью можно исследовать бизнес-процессы в организационной системе, оперировать понятиями их результативности и эффективности, использовать методы process-mining для их описания, исследования и преобразования. Вместе с тем процессный подход не исключает, а дополняет традиционно используемый функциональный подход в менеджменте. Конвергенция разных подходов, стратов, ракурсов обеспечивает возможность использовать достоинства каждого из них.

Предложенный в статье подход, основанный на графовой аналитике (Graph Analytics), расширяет существующие возможности process-mining, позволяет анализировать сложные совокупности и наборы данных, событий, последовательностей, процессов в организационных системах методами теории графов, сетевого анализа, графовой аналитики. В статье приведены примеры решения задач количественного исследования организационных систем, основанных на графовой аналитике: многомерного шкалирования, анализа марковских цепей. Источником для такого анализа являются логи анализируемых процессов, которые могут быть получены с помощью традиционных средств существующих информационных систем, что определяет возможность и целесообразность решения подобных задач.

В статье рассмотрен только один частный пример, упрощенный бизнес-процесс. Вместе с тем существующие программные средства, в том числе и отечественные, например, Promease, Loginom Process Mining [19] по логам (цифровым следам) позволяют строить карты бизнес-процессов и проводить их исследования. Интеграция интеллектуального анализа, данных, процессов, функций на основе единых методов и инструментов должна позволить реализовать современный подход на совершенствование процессов, реализацию их потенциалов.

**Список источников**

1. Хаммер М., Чампи Дж. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе: пер. с англ. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 1997. 332 с.
2. ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М.: Стандартинформ, 2019.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. М.: Стандартинформ, 2011.
4. ГОСТ Р 57193–2016. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем (ISO/IEC/IEEE 15288:2015, NEQ). М.: Стандартинформ, 2011.
5. Van der Aalst W. Process Mining. Data Science in Action. Berlin, Heidelberg: Springer, 2016. DOI: 10.1007/978-3-662-49851-4.
6. Манифест Process Mining. URL: <https://www.tf-pm.org/upload/1590128200840.pdf> (дата обращения: 18.07.2022).
7. Наумов В.Н., Наумов П.В., Буйневич М.В. Анализ структур организационных систем методами сетевого моделирования // Информатизация и связь. 2022. № 3. С. 52–58. DOI: 10.34219/2078-8320-2022–13-3-52-58.
8. Hamilton W.L., Ying R., Leskovec J. Graph Representation Learning: Methods and Applications // arXiv:1709.05584. URL: <https://arxiv.org/pdf/1709.05584.pdf> (дата обращения: 01.08.2022).
9. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge // SEBoK. URL: [https://www.sebokwiki.org/wiki/Guide\\_to\\_the\\_Systems\\_Engineering\\_Body\\_of\\_Knowledge](https://www.sebokwiki.org/wiki/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge) (дата обращения: 08.06.2022).
10. Crowder J.A., Hoff C.W. Model-Based Systems Engineering // In: Requirements Engineering: Laying a Firm Foundation. 2022. P. 197–216. DOI: 10.1007/978-3-030-91077-8\_17.
11. Estefan J.A. Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies. URL: [http://www.omgsysml.org/MBSE\\_Methodology\\_Survey\\_RevB.pdf](http://www.omgsysml.org/MBSE_Methodology_Survey_RevB.pdf) (дата обращения: 01.08.2022).
12. Systems Modeling Language (SysML) // Sparx Systems. URL: <https://sparxsystems.com/resources/user-guides/16.0/model-domains/sysml-models.pdf> (дата обращения: 23.07.2022).
13. ПНСТ 173–2016. Системы промышленной автоматизации и интеграция. Объектно-процессуальная методология. М.: Стандартинформ, 2017.
14. Люк Д. Анализ сетей (графов) в среде R. Руководство пользователя. М.: ДМК Пресс, 2017. 250 с.
15. van der Aalst W., van Hee K. Workflow Management: Models, Methods, and Systems. Cambridge: The MIT Press, 2002. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.95.9284&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 27.07.2022).
16. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: пер. с англ. М.: Мир, 1984. 264 с.
17. ProM 6: The Process Mining Toolkit / H.M.W. Verbeek [et al.] // Proceedings of Business Process Management Demonstration Track (Hoboken, USA, 14–16 September 2010). CEUR, 2010. Vol. 615. P. 34–39. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-615/paper13.pdf> (дата обращения: 08.08.2022).
18. Толстова Ю.Н. Основы многомерного шкалирования. М.: КДУ, 2006. 169 с.
19. Портал ProcessMI. URL: <https://processmi.com/programms/promease-sistema-process-mining-procress-majning> (дата обращения: 07.08.2022).

**References**

1. Hammer M., Champi Dzh. Reinzhiniring korporacii: Manifest revoljucii v biznese: per. s angl. SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 1997. 332 s.

2. GOST R ISO 9000–2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovnye polozheniya i slovar'. M.: Standartinform, 2019.
3. GOST R ISO/MEK 12207–2010. Informacionnaya tekhnologiya. Sistemnaya i programmaya inzheneriya. Processy zhiznennogo cikla programmnyh sredstv. M.: Standartinform, 2011.
4. GOST R 57193–2016. Sistemnaya i programmaya inzheneriya. Processy zhiznennogo cikla sistem (ISO/IEC/IEEE 15288:2015, NEQ). M.: Standartinform, 2011.
5. Van der Aalst W. Process Mining. Data Science in Action. Berlin, Heidelberg: Springer, 2016. DOI: 10.1007/978-3-662-49851-4/
6. Manifest Process Mining. URL <https://www.tf-pm.org/upload/1590128200840.pdf> (data obrashcheniya: 18.07.2022)/
7. Naumov V.N., Naumov P.V., Bujnevich M.V. Analiz struktur organizacionnyh sistem metodami setevogo modelirovaniya // Informatizaciya i svyaz'. 2022. № 3. S. 52–58. DOI: 10.34219/2078-8320-2022–13-3-52-58.
8. Hamilton W.L., Ying R., Leskovec J. Graph Representation Learning: Methods and Applications // arXiv:1709.05584. URL: <https://arxiv.org/pdf/1709.05584.pdf> (data obrashcheniya: 01.08.2022).
9. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge // SEBoK. URL: [https://www.sebokwiki.org/wiki/Guide\\_to\\_the\\_Systems\\_Engineering\\_Body\\_of\\_Knowledge](https://www.sebokwiki.org/wiki/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge) (data obrashcheniya: 08.06.2022).
10. Crowder J.A., Hoff C.W. Model-Based Systems Engineering // In: Requirements Engineering: Laying a Firm Foundation. 2022. P. 197–216. DOI: 10.1007/978-3-030-91077-8\_17.
11. Estefan J.A. Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies. URL: [http://www.omgsysml.org/MBSE\\_Methodology\\_Survey\\_RevB.pdf](http://www.omgsysml.org/MBSE_Methodology_Survey_RevB.pdf) (data obrashcheniya: 01.08.2022).
12. Systems Modeling Language (SysML) // Sparx Systems. URL: <https://sparxsystems.com/resources/user-guides/16.0/model-domains/sysml-models.pdf> (data obrashcheniya: 23.07.2022).
13. PNST 173–2016. Sistemy promyshlennoj avtomatizacii i integraciya. Ob"ektno-processual'naya metodologiya. M.: Standartinform, 2017.
14. Lyuk D. Analiz setej (grafofov) v srede R. Rukovodstvo pol'zovatelya. M.: DMK Press, 2017. 250 s.
15. van der Aalst W., van Hee K. Workflow Management: Models, Methods, and Systems. Cambridge: The MIT Press, 2002. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.95.9284&rep=rep1&type=pdf> (data obrashcheniya: 27.07.2022).
16. Piterson Dzh. Teoriya setej Petri i modelirovanie sistem: per. s angl. M.: Mir, 1984. 264 s.
17. ProM 6: The Process Mining Toolkit / H.M.W. Verbeek [et al.] // Proceedings of Business Process Management Demonstration Track (Hoboken, USA, 14–16 September 2010). CEUR, 2010. Vol. 615. P. 34–39. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-615/paper13.pdf> (data obrashcheniya: 08.08.2022).
18. Tolstova Yu.N. Osnovy mnogomernogo shkalirovaniya. M.: KDU, 2006. 169 s.
19. Portal ProcessMI. URL: <https://processmi.com/programms/promease-sistema-process-mining-proczess-majning> (data obrashcheniya: 07.08.2022).

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 16.08.2022; одобрена после рецензирования: 18.08.2022; принята к публикации: 20.08.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 16.08.2022; approved after review: 18.08.2022; accepted for publication: 20.06.2022

*Сведения об авторах:*

**Владимир Николаевич Наумов**, заведующий кафедрой бизнес-информатики Северо-Западного института управления – филиала РАНХиГС (199178, Санкт-Петербург, Средний пр. В.О., д. 57/43), доктор военных наук, профессор, e-mail: [naumov-vn@ranepa.ru](mailto:naumov-vn@ranepa.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0385-3530>

**Михаил Викторович Буйневич**, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: [bmv1958@yandex.ru](mailto:bmv1958@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8146-0022>

**Анна Дмитриевна Стрелец**, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [annstrelka@rambler.ru](mailto:annstrelka@rambler.ru)

*Information about authors:*

**Vladimir N. Naumov**, head of the department of business informatics of North-Western institute of management – branch of RANEPa (198095, Saint-Petersburg, Sredny ave. VO, 57/43), doctor of military, professor, e-mail: [naumov-vn@ranepa.ru](mailto:naumov-vn@ranepa.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0385-3530>

**Mikhail V. Buinevich**, professor of the department of applied mathematics and information technologies of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: [bmv1958@yandex.ru](mailto:bmv1958@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8146-0022>

**Anna D. Strelets**, adjunct of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: [nnstrelka@rambler.ru](mailto:nnstrelka@rambler.ru)



УДК 621.3

## **ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ УЗЛОМ**

Алиреза Атаеи Фатхабади<sup>✉</sup>;

Акрам Реза.

Исламский университет Азад, Тегеран, Иран.

Сафие Сиадат.

Университет Паяме Нур (PNU), Тегеран, Иран

<sup>✉</sup> *BranchAliataei\_20@yahoo.com*

*Аннотация.* Данное исследование посвящено проблеме повышения энергоэффективности протоколов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях, имеющих центральный узел в центре сети, с использованием метода нечеткой логики. Для этой цели к базовому протоколу EENCRP был применен предложенный метод. Предлагаемый метод основан на нечеткой системе с двумя входами и одним выходом, входами которой являются расстояние и энергия узлов, а выходом является вероятность выбора головным кластерным узлом. Используемая нечеткая система построена на основе алгоритма нечеткого вывода Мамдани, каждая из входных переменных имеет три возможных значения с соответствующими функциями принадлежности. Выходная переменная имеет 9 выходных функций принадлежности. После применения предложенного метода и моделирования как базового, так и предложенного протоколов результаты показали: предложенный метод имеет меньшее количество неработоспособных узлов, в тех же итерациях, что и метод EENCRP. Кроме того, количество пакетов, отправленных в предлагаемом методе, называемом F-EENCRP, показало улучшение примерно на 35 % по сравнению с основным методом. Количество головных кластерных узлов в базовом методе было в среднем на 10 % выше, чем предложенном методе, что указывает на то, что меньше энергии тратится на то, чтобы агрегировать пакеты для отправки их на базовый узел.

*Ключевые слова:* беспроводная сенсорная сеть, кластеризация, протокол маршрутизации, EENCRP, нечеткая логика

**Для цитирования:** Алиреза Атаеи Фатхабади, Акрам Реза, Сафие Сиадат. Представление метода повышения энергоэффективности протоколов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях с центральным узлом // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 102–109.

## PRESENTING A METHOD IN ORDER TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF ROUTING PROTOCOLS IN WIRELESS SENSOR NETWORKS IN THE CENTRAL NODE MODE IN THE CENTER OF THE NETWORK

Alireza Ataei Fathabadi<sup>✉</sup>;

Akram Reza.

Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Safieh Siadat.

Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran

<sup>✉</sup> [BranchAliataei\\_20@yahoo.com](mailto:BranchAliataei_20@yahoo.com)

*Abstract.* In this research, using a method based on fuzzy logic, in order to increase energy efficiency, routing protocols in wireless sensor networks are presented in the central node mode in the center of the network. For this purpose, first the EEHCRP protocol was selected as the basic protocol and by applying the proposed method on it, an attempt was made to improve this protocol. The proposed method is based on a fuzzy system with two inputs and one output, the inputs of which are distance as well as energy, and the output of which is the chance of being happy. The fuzzy system used is a Mamdani fuzzy system and each of their inputs has three membership functions, which eventually resulted in 9 output membership functions for the output variable. After applying the proposed method and simulation both the basic and proposed protocols, finally the results showed, The proposed method has a lower number of dead nodes in the same rounds than the EEHCRP method. Also, the number of packets sent in the proposed method, called F-EEHCRP, has shown an improvement of about 35 % compared to the basic method. Also, the number of cluster heads in the Basic method was 10 % higher on average than the proposed method, which indicates that less energy is spent in order to aggregate the packets to send them to the base node.

*Keywords:* wireless sensor network, clustering, routing protocol, EEHCRP, fuzzy logic

**For citation:** Alireza Ataei Fathabadi, Akram Reza, Safieh Siadat. Presenting a method in order to increase the energy efficiency of routing protocols in wireless sensor networks in the central node mode in the center of the network // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 102–109.

### Introduction

Advanced integrated circuit technology has led to the development of small sensor nodes capable of processing and transmitting data. These nodes after distribution in the target area, they create a network that has the ability to sense environmental data and react to environmental conditions. This has led to wireless sensor networks (WSNs) in applications such as military or urban applications, intrusion detection, climate monitoring, technical monitoring, etc. should be used. WSNs consist of a large number of sensor nodes and a Base Station (BS). BSs process and store information received from sensor nodes.

In wireless sensor networks, nodes must recognize what is happening around them and collect them and send them to the base station. Obviously, if there is no management on these nodes, each node does its job regardless of the other nodes. This causes the nodes to consume energy faster and shorten the lifetime of the nodes and the network crashes. To prevent this from happening, must be management on network nodes. Clustering is one of the solutions to this problem [1].

Routing in wireless sensor networks plays an important role in environmental monitoring, traffic monitoring, etc. Also routing protocols in wireless sensor networks responsible for discovering and conserving effective energy for reliable and efficient communication. Different features related to energy problems, security, speed and reliability of routing [2]. The main focus of this research is on the properties of energy.

The purpose of designing routing protocols is to extend network lifetime and energy efficiency. Based on the network structure, routing protocols in the wireless sensor network can be broadly classified into three categories:

Flat Routing, Hierarchical Based Routing, location based routing.

One of the advantages of clustering is that it can localize routing within a cluster, thus reducing the storage size of routing tables. In addition, clustering saves communication bandwidth and reduces plug-in data by limiting node performance [3].

One of the most important challenges of these networks the amount of energy is limited and non-rechargeable network nodes as well as energy consumption during data collection and transmission. Based on the simulation of different designs, with optimization methods, it is clear that clustering routing protocols are efficient in improving the performance of wireless sensor networks, especially energy consumption.

Because sensor nodes have limited energy therefore, wireless sensor network protocols and algorithms must be designed to be energy efficient to increase the lifetime of the network.

Therefore in this research we are looking to presented a method in order to optimize energy consumption in wireless sensor networks using clustering-based routing techniques. The objectives of the research are as follows:

1. Energy efficiency (energy efficient) in cluster routing protocols.
2. Scalability compared to previous protocols.
3. To maximize the network lifetime.
4. To minimize the energy consumption.

### Proposed method

In this research, first a basic protocol, which is EEHCRP, is selected, then the simulation and evaluation steps of the proposed method are performed according to the block diagram of Figure 1. For this purpose, after determining the membership functions of inputs and outputs, the simulation of the FIS<sup>1</sup> system continues with the determination of fuzzy rules. Then, the basic protocol was simulated and the FIS system was designed and implemented to determine the cluster heads. Finally, the results of the proposed method were evaluated.

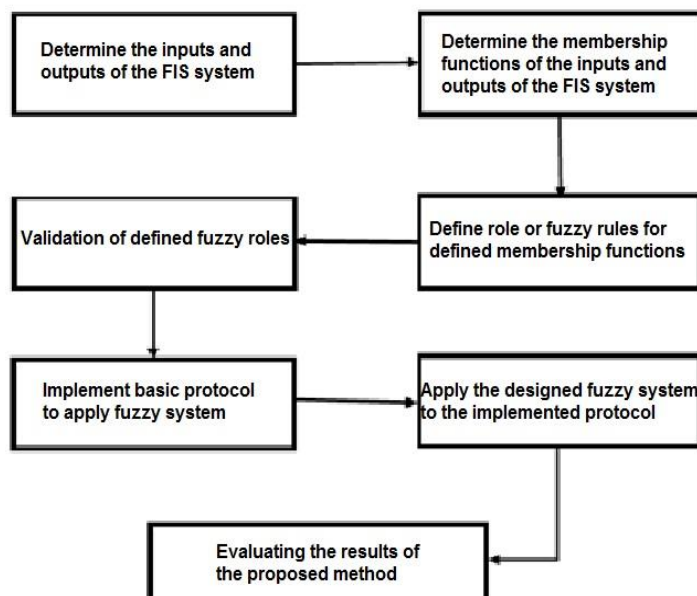


Fig. 1. Block diagram of the proposed method

<sup>1</sup> Fuzzy Inference System

### Basic protocol EEHCRP

This algorithm tries to reduce the death of nodes and thus increase the life of the network by dividing the network into several levels and then clustering each level. In this algorithm, it is assumed that  $N$  sensor nodes are randomly located in a range and the base station is in the middle of this range. Nodes with limited energy capacity and base station can produce signals with different energy levels [4].

The algorithm consists of three phases, which include: setup phase, cluster setup phase and inter cluster routing phase [4].

The threshold value in this algorithm is proposed in two ways, the first method to change the threshold value in LEACH is equation (1) [5]:

$$T_1 = \begin{cases} \frac{P * c}{1 - P * \left( r \bmod \frac{1}{p} \right)} * \frac{U_i - d(n, BS)}{(U_i - L_i)} & \text{if } n \in Z \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (1)$$

where  $P$  = the desired percentage of the cluster heads;  $r$  = the current round;  $Z$  = the set of nodes which have not been CHs in the last  $1/P$  rounds;  $c$  = the constant factor between the 0 and 1;  $U_i$  = the upper limit of level- $i$ ;  $L_i$  = the lower limit of level- $i$ ;  $d(n, BS)$  = the distance between node  $n$  and base station.

In the second method, the threshold value is defined as equation (2):

$$T_i(n) = \begin{cases} \frac{P * c}{1 - P * \left( r \bmod \frac{1}{p} \right)} * \left( \frac{U_i - d(n, BS)}{U_i - L_i} * \frac{E_{cur}(n)}{E_{ini}(n)} \right) & \text{if } n \in Z \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}. \quad (2)$$

### Fuzzy selection of cluster heads

In fuzzy selection of cluster heads, the main criterion is the near of the node to BS and the other criterion is its energy value. The shorter the distance from the BS and the higher the energy of the node, the better the chance of choosing it as the cluster head. Therefore, for the design of the fuzzy system, two input parameters were defined as distance and energy. Each of these two parameters has three membership functions. The different states of the distance parameter are defined with Near, Far and Mid, and for the energy variable, three states of High, Mid and Low were defined, that From the combination of these two membership functions, 9 modes were created for the output, which had the chance to be selected as a cluster head.

By increasing the distance of the node from BS and decreasing its energy, the probability of selecting it as a cluster head decreases, and conversely, by decreasing the distance and increasing the energy of the node, the chance of selecting it as a cluster head increases. Table 1 shows the fuzzy rules defined for selecting cluster heads.

Table 1. Fuzzy rules defined for cluster head

DistanceFromBs	Energy	PossibiolityOfCH
Far	Low	Vsmall
Mid	Low	Small
Near	Low	Rsmall
Far	Mid	Smid
Mid	Mid	Mid
Near	Mid	Vmid
Far	High	Slarge
Mid	High	Large
Near	High	Vlarge

### Basic protocol simulation EEHCRP

In this section, the basic protocol is simulated and the results are evaluated. But before the simulation, it is necessary to mention the specifications of the simulation. Table 2 describes the simulation specifications performed.

Table 2. Network specifications in EEHCRP protocol simulation

Parameters	Value
Number of sensor nodes	100
Coordinates of the central node	(50,50)
The initial energy of the nodes	0/5 J
The initial probability of each node being cluster head	0/1

The simulation performed in the present study is using MATLAB 2018b software. Assuming the number of nodes is  $N$  and the number of clusters is  $k$ ; on average, it can be assumed that there will be nodes in each  $N / k$  cluster. One of these nodes will be as a cluster head and the rest will be normal nodes. The initial energy of each node in this study is  $E_0$  and the length of each message sent is considered equal to  $l$ .  $d$  also indicates the distance between the source node and the destination. The mathematical model of energy consumption when sending packets by nodes is shown in equation (3):

$$E_{Tx} = l \cdot E_{elec} + l \cdot \epsilon \cdot d^\gamma. \quad (3)$$

Also, the equation of energy consumption when receiving a packet with  $L$  bits using equation (4) will be:

$$E_{Rx} = l \cdot E_{elec}. \quad (4)$$

In equations (3) and (4),  $E_{elec}$  is the energy consumed to send and receive a bit of data.

In this research, the energy required to send a bit of data equal to 50 nJ is considered. Also, the value of  $\epsilon$ , which is the communication channel factor, is equal to 10 pJ. The simulation results of this protocol are mentioned below. In the scenario intended for research for simulation, which is in order to investigate the effect of the coordinates of the central node:

The central node is located in the center of the network (coordinates (50, 50)).

### Simulation of the proposed method

Fig. 2 shows the comparison between the number of dead nodes after 5000 rounds of execution of the basic and proposed protocol.

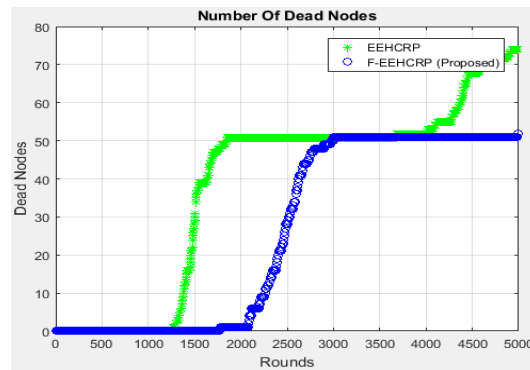


Fig. 2. The number of dead nodes in the proposed method and the basic protocol

As shown in Fig. 2, after 5000 rounds, the number of dead nodes in the basic protocol method, until approximately 1300th round, there were practically no dead nodes in the network.

And between rounds 1300 to 2000, almost half of the network nodes have consumed their energy and are so-called dead. By the end of the 5000th round, it has reached about 73 nodes, while for the proposed method, this number is about 50 nodes.

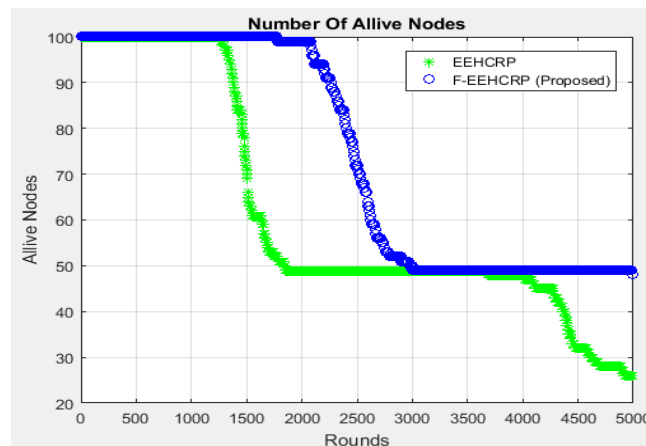


Fig. 3. Number of alive nodes in the basic protocol and proposed method

In Fig. 3 similar to Fig. 2, as can be seen, the number of alive nodes at the end of the number of rounds performed in the basic protocol method is approximately up to 1300 rounds, practically all nodes are active and then gradually and As the energy of the various nodes decreases, the nodes lose their efficiency and after the end of 5000 simulation rounds, finally about 27 nodes out of 100 network nodes still have more energy than the considered threshold. While this number for the proposed method, about 50 alive nodes are still in the network, their energy level is more than the threshold, which clearly indicates the number of alive nodes at the end of the number of rounds performed, in the proposed method, it is much more than the basic protocol.

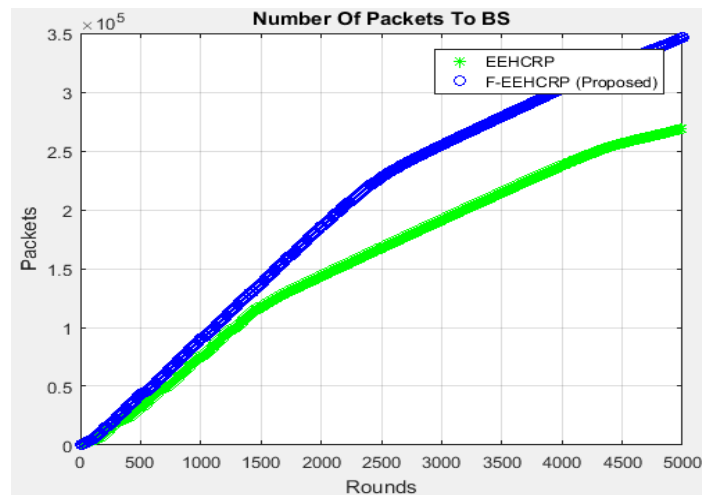


Fig. 4. Number of packets sent to the central node in the basic protocol and the proposed method

As Fig. 4 shows, the number of packets sent in the proposed method is about 350,000 packages, which shows an improvement of about 30 % compared to 270,000 packages of the basic method.

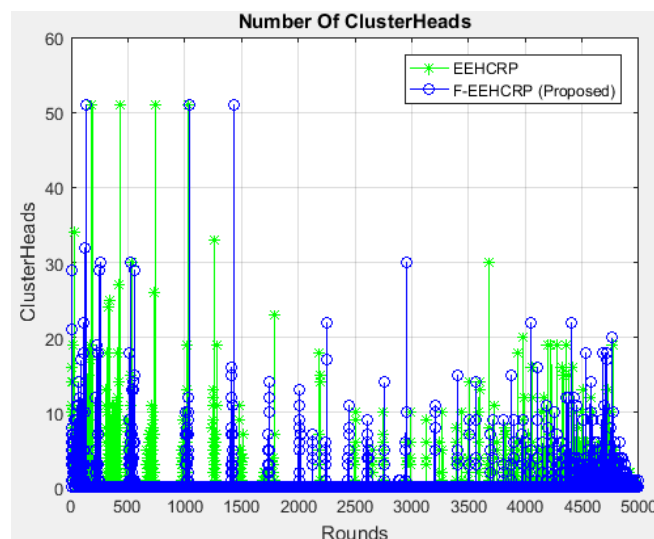


Fig. 5. Number of cluster heads per round in the basic protocol and proposed method

Also in Fig. 5 is shown the number of cluster heads in each round for the two methods studied in this research. As Fig. 5 shows, on average, the number of rounds that the proposed method uses less cluster heads is far more than the basic protocol. This indicates that it is important that the energy consumed in the cluster heads to aggregate and send data to the central node in the proposed method is far less than the basic protocol, which means that the network life in the proposed method is more than the basic method.

## Conclusion

In this research, a method to increase the energy efficiency of routing protocols in wireless sensor networks was presented. According to the simulations performed and the results described, the proposed method in parameters of evaluation parameters such as the number of dead and living nodes, the number of packets sent to the central node and the number of selected cluster heads, compared to the basic EEHCRP method. It was better. The fact that there are fewer dead nodes

in the same rounds in the proposed method than in the basic method indicates an increase in the average remaining energy in the network as well as an increase in the lifetime of the wireless sensor network operating under the proposed protocol. The proposed method has performed well. Also, the number of packets sent to the central node in the present study has shown a significant increase compared to the basic protocol. Thus, in the basic protocol, at the end of the number of simulation rounds, we had about 270,000 packets sent to the central node, which after applying the proposed method, this number of packets reached 350,000. This increase indicates that, in addition to consuming less energy in the proposed method (according to the number of dead nodes), more information is collected from the environment, which has an even greater advantage for the proposed method. Also, the average number of selected cluster heads in each round, in the proposed method, was less than the basic method, which again indicates less energy consumption in terms of data aggregation. Therefore, in the end, it can be said that the proposed method has performed much better than the proposed method in three aspects.

### References

1. Guleria K., Verma A.K. Comprehensive review for energy efficient hierarchical routing protocols on wireless sensor networks. *Wireless Networks*. 2019. № 25 (3). P. 1159–1183.
2. Dhir M.B.K. A survey on fault tolerant multipath routing protocols in wireless sensor networks // *Global Journal of Computer Science and Technology*. 2016.
3. Firdaus T., Hasan M. A survey on clustering algorithms for energy efficiency in wireless sensor network. In *2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*. 2016. March. P. 759–763. IEEE.
4. Meghanathan N., Chaki N., Nagamalai D. (Eds.). (2012). *Advances in Computer Science and Information Technology. Networks and Communications: Second International Conference, CCSIT 2012, Bangalore, India: Springer, 2012. January 2-4. Proceedings (Vol. 84)*.
5. Zhang Y., Liu M., Liu Q. An energy-balanced clustering protocol based on an improved CFSFDP algorithm for wireless sensor networks. *Sensors*. 2018. № 18 (3). P. 88.

### Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 16.06.2022; одобрена после рецензирования: 18.09.2022;  
принята к публикации: 20.09.2022

### The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 16.06.2022; approved after review: 18.09.2022;  
accepted for publication: 20.09.2022

### Сведения об авторах:

**Алиреза Атаеи Фатхабади**, компьютерная инженерия программного обеспечения, Исламский университет Азад, Филиал Шахр-и-Кудс (Иран, Тегеран, г. Кудс), e-mail: Aliataei\_20@yahoo.com

**Акрам Реза**, кафедра вычислительной техники, филиал Шахр-и-Кодс, Исламский университет Азад, (Иран, Тегеран, г. Кудс), e-mail: a.reza@qodsiau.ac.ir

**Сафие Сиадат**, доцент кафедры компьютерной инженерии и информационных технологий Университета Паяме Нур (PNU), (19569, Иран, Тегеран, ул. Наджал), e-mail: siadat@pnu.ac.ir

### Information about authors:

**Alireza Ataei Fathabadi**, Computer Software Engineering, Islamic Azad University, Shahr-i-Quds Branch (Iran, Tehran, Quds), e-mail: Aliataei\_20@yahoo.com

**Akram Reza**, department of computer engineering, Shahr-i-Qods Branch, Islamic Azad University, (Iran, Tehran, Quds), e-mail: a.reza@qodsiau.ac.ir

**Safiye Siadat**, associate professor, department of computer engineering and information technology, Payame Noor University (PNU), (19569, Iran, Tehran, Najal St.), e-mail: siadat@pnu.ac.ir



УДК 614.8, 519.8, 51-7

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО ОБОРУДОВАНИЮ СБОРНОГО ПУНКТА ПОВРЕЖДЕННЫХ МАШИН

**Владимир Анатольевич Седнев**<sup>✉</sup>.

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия.

**Алексей Владимирович Седнев.**

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет), Москва, Россия

<sup>✉</sup> [sednev70@yandex.ru](mailto:sednev70@yandex.ru)

*Аннотация.* Возрастание количества и масштабов последствий чрезвычайных ситуаций мирного и военного времени, сложности задач, к решению которых должны быть готовы спасательные подразделения, требуют прогнозирования результатов планируемых действий и применения для обоснования решений методов математического моделирования. Применение математических моделей должно способствовать совершенствованию принципов применения спасательных формирований, способов выполнения задач их инженерного и инженерно-технического обеспечения. Причем трудность состоит не в том, чтобы рассчитать варианты решения и выбрать из них наиболее рациональный, а в том, что многие параметры, характеризующие обстановку, носят случайный характер. В статье рассмотрен научно-методический подход повышения эффективности организации ремонта поврежденной в районе чрезвычайной ситуации техники на примере оборудования сборного пункта поврежденных машин, опирающийся на метод статистических испытаний. Область применения результатов – обоснование комплекса средств для выполнения задач и работ спасательными подразделениями на примере оборудования ими сборного пункта поврежденных машин.

Разработанный научно-методический подход позволяет обосновывать координаты наиболее рационального расположения сборного пункта поврежденных машин, и на этой основе максимизировать эффективность эвакуации поврежденной техники за заданное время, оценить организацию выполнения задач в зоне чрезвычайной ситуации в целом, а также служит основой для совершенствования работы органов управления всех уровней.

*Ключевые слова:* спасательное формирование, техника, ремонт, организация выполнения задач

**Для цитирования:** Седнев В.А., Седнев А.В. Моделирование организации работ по оборудованию сборного пункта поврежденных машин // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 110–118.

## MODELING OF THE ORGANIZATION OF WORK ON THE EQUIPMENT OF THE ASSEMBLY POINT OF DAMAGED MACHINES

Vladimir A. Sednev✉.

Academy of State fire service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia.

Alexei V. Sednev.

Moscow state technical university them. N.E. Bauman (national research university),

Moscow, Russia

✉ [sednev70@yandex.ru](mailto:sednev70@yandex.ru)

*Abstract.* The increasing number and scale of the consequences of emergencies of peacetime and wartime, the complexity of the tasks that rescue units must be ready to solve, requires forecasting the results of planned actions and the use of mathematical modeling methods to justify solutions. The use of mathematical models should contribute to the improvement of the principles of the use of rescue formations, methods of performing the tasks of their engineering and engineering support. Moreover, the difficulty is not to calculate the solution options and choose the most rational one from them, but that many parameters characterizing the situation are random. The article considers a scientific and methodological approach to improving the efficiency of the organization of repair of equipment damaged in an emergency situation on the example of the equipment of the assembly point of damaged machines, based on the method of statistical tests. The scope of application of the results is the justification of a set of tools for performing tasks and works by rescue units on the example of their equipment of the assembly point of damaged machines.

The developed scientific and methodological approach makes it possible to justify the coordinates of the most rational location of the assembly point of damaged vehicles and, on this basis, maximize the efficiency of evacuation of damaged equipment for a given time, to assess the organization of tasks in the emergency zone as a whole, and also serves as a basis for improving the work of management bodies at all levels.

*Keywords:* rescue formation, equipment, repair, organization of tasks

**For citation:** Sednev V.A., Sednev A.V. Modeling of the organization of work on the equipment of the assembly point of damaged machines // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 110–118.

### Постановка задачи

При выполнении задач аварийно-спасательными формированиями в районах чрезвычайных ситуаций мирного и военного времени часто подлежит ремонту используемая ими техника различного назначения [1–5]. Для повышения эффективности ремонта может быть предусмотрена организация сборных пунктов поврежденных машин.

С помощью предлагаемой модели предполагается определить наиболее рациональное расположение одного из сборных пунктов поврежденных машин в отведенном для него районе действия и оценить эффективность выполнения им задачи. В качестве критерия эффективности принимается количество поврежденной аварийно-спасательной, пожарной или другой специальной техники, эвакуируемой на сборный пункт поврежденных машин за отведенное время выполнения задачи сборным пунктом поврежденных машин –  $T_{\text{зад}}$ .

### Исходные предпосылки и допущения

Район действия сборного пункта поврежденных машин по форме близок к прямоугольной с размерами: по фронту –  $A$  (км), в глубину –  $B$  (км).

Плечо эвакуации на сборный пункт поврежденных машин составляет  $L$  (км). В районе действия сборного пункта поврежденных машин находится  $N$  поврежденной аварийно-спасательной, пожарной и другой специальной техники, распределенной по площади района случайным образом по равномерному закону.

Сборный пункт поврежденных машин располагает одним эвакуационным средством, скорость движения которого без эвакуируемой техники на прицепе – случайная величина, распределенная по нормальному закону с параметрами  $M_v$  и  $v$ ; при движении с эвакуируемой техникой его скорость примерно вдвое меньше.

Выбор координат расположения сборного пункта поврежденных машин в районе его действия осуществляется методом проб в фиксированных точках, показанных на расчетной схеме (рис. 1).



Рис. 1. Расчетная схема выбора координат расположения сборного пункта поврежденных машин

В результате моделирования должны быть получены следующие данные:

- координаты наиболее рационального расположения сборного пункта поврежденных машин в районе;

- математическое ожидание количества эвакуируемых за время  $T_{з\text{ад}}$  аварийно-спасательной, пожарной и другой специальной техники при окончательно выбранном месте расположения сборного пункта поврежденных машин.

В качестве критерия наиболее рационального расположения сборного пункта поврежденных машин в районе принимается количество поврежденной аварийно-спасательной, пожарной и другой специальной техники, эвакуируемой за время  $T_{з\text{ад}}$ , которое

должно быть максимальным при рассмотрении всех возможных вариантов расположения сборного пункта поврежденных машин.

### Математическая формулировка задачи

Определяющие параметры (координаты расположения поврежденной аварийно-спасательной, пожарной и другой специальной техники, скорости движения эвакуационного средства) являются случайными величинами, поэтому в основу модели положен метод статистических испытаний [6–15].

Для генерации случайных величин необходимо иметь возможность получать последовательность равномерно распределенных случайных чисел, которые ведут себя как независимые реализации или выборки случайной величины, равномерно распределенной на интервале [0–1].

При помощи последовательности равномерно распределенных случайных чисел можно получить последовательности случайных величин, имеющих другие законы распределения. С помощью этой процедуры можно моделировать объекты, имеющие случайную природу, по известному распределению вероятностей.

В общем случае моделирование непрерывной случайной величины  $x$  осуществляется с помощью преобразующей функции вида  $x = \varphi_x(\eta)$ . Функция, которая преобразует случайное число  $\eta$ , имеющее равномерное распределение от 0 до 1, в заданное распределение моделируемой величины  $x$ , называется преобразующей функцией. Каждому конкретному закону распределения случайной величины соответствует конкретная преобразующая функция [6, 8–11].

Для моделирования случайных величин приведем преобразующие функции.

1. Преобразующие функции для моделирования координат поврежденной аварийно-спасательной, пожарной или другой специальной техники:

$$x_i = B \cdot \eta, \text{ км};$$

$$y_i = A \cdot \eta, \text{ км}.$$

Координаты возможных мест расположения сборного пункта поврежденных машин могут быть вычислены из следующих выражений:

$$x = \frac{J}{8} \cdot B, \text{ км};$$

$$y = \frac{K}{4} \cdot A, \text{ км},$$

где  $J = \overline{1,7}$  ( $J$  – координата сборного пункта поврежденных машин) и  $K = \overline{1,3}$  ( $K$  – координата сборного пункта поврежденных машин).

Эти параметры выбираются из условия, чтобы количество  $M$  поврежденных единиц аварийно-спасательной, пожарной или другой специальной техники внутри круга было бы максимальным:

$$\left(x_i - \frac{J}{8} \cdot B\right)^2 + \left(y_i - \frac{K}{4} \cdot A\right)^2 \leq L^2,$$

где  $L$  – плечо эвакуации на сборный пункт поврежденных машин.

Количество поврежденной аварийно-спасательной, пожарной или другой специальной техники, эвакуируемой за время  $T_{\text{зад}}$ , определяется из условия ограничения этим временем:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_T = M, \text{ если } \sum_{r=1}^M T_r \leq T_{\text{зад}} \\ M_T < M, \text{ если } \sum_{r=1}^M T_r > T_{\text{зад}} \end{array} \right. ,$$

где  $M_T$  – максимальное количество аварийно-спасательной, пожарной или другой специальной техники в зоне сборного пункта поврежденных машин;  $T_r$  – время эвакуации одной  $r$  аварийно-спасательной, пожарной или другой специальной техники (час):

$$T_r = L_M \cdot \left( \frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right),$$

где  $L_M$  – расстояние от сборного пункта поврежденных машин до поврежденной аварийно-спасательной, пожарной или другой специальной техники, км;  $V_1$  – скорость движения эвакуационного средства без поврежденной аварийно-спасательной, пожарной или другой специальной техники, км/час;  $V_2$  – то же с поврежденной аварийно-спасательной, пожарной или другой специальной техникой на прицепе.

2. Скорости (км/час)  $V_1$  и  $V_2$  моделируются с помощью преобразующих функций:

$$V_1 = M_v + \sigma_v \cdot \eta_n;$$

$$V_2 = (M_v + \sigma_v \cdot \eta_n) / 2,$$

где  $M_v$  – математическое ожидание скорости движения эвакуационного средства без поврежденной аварийно-спасательной, пожарной или другой специальной техники, км/час;  $\sigma_v$  – среднее квадратическое отклонение этой скорости, км/час.

Математическое ожидание количества эвакуированной поврежденной аварийно-спасательной, пожарной или другой специальной техники за время  $T_{\text{зад}}$  определяется по завершении  $R$  реализаций по формуле:

$$M[M_T] = \frac{1}{R} \sum_{c=1}^R M_{T_c},$$

где  $M_{T_c}$  – количество эвакуированной техники за время  $T_{\text{зад}}$  в  $C$  реализации (при наиболее рациональном расположении сборного пункта поврежденных машин).

Обобщенный алгоритм (первого уровня) моделирования организации работ по оборудованию сборного пункта поврежденных машин приведен на рис. 2.

*Ввод исходных данных:*

$N$  – количество поврежденной техники в районе, ед.;

$A, B$  – размеры района, км;

$L$  – плечо эвакуации на сборный пункт поврежденных машин, км;

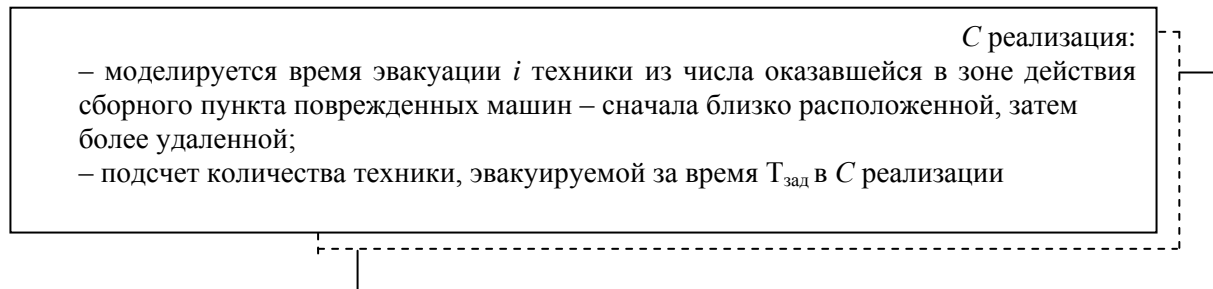
$M_v$  – математическое ожидание скорости движения эвакуационного средства без поврежденной аварийно-спасательной, пожарной или другой специальной техники, км/час;

$\sigma_v$  – среднее квадратическое отклонение этой скорости, км/час;

$T_{\text{зад}}$  – заданное время выполнения задачи сборным пунктом поврежденных машин, час;

$R$  – количество реализаций

1. Моделирование координат положения поврежденной техники.
2. Определение количества техники, оказывающейся в круговой зоне действия сборного пункта поврежденных машин (пробуется расположение сборного пункта поврежденных машин во всех отмеченных на расчетной схеме точках).
3. По наибольшему числу попавшей поврежденной техники в зону действия сборного пункта поврежденных машин фиксируется наиболее рациональное место его расположения.
4. Определяется расстояние до каждой попавшей в зону действия сборного пункта поврежденных машин поврежденной техники, при этом формируется массив этих расстояний в порядке их возрастания.
5. Проводится  $R$  реализаций:



6. По результатам всех реализаций определяется математическое ожидание количества эвакуируемой поврежденной техники за время  $T_{\text{зад}}$

*Вывод результатов:*

математическое ожидание количества эвакуированной поврежденной техники за время  $T_{\text{зад}}$ ;

координаты наиболее рационального расположения сборного пункта поврежденных машин

**Рис. 2. Обобщенный алгоритм моделирования организации работ по оборудованию сборного пункта поврежденных машин**

Теоретическое значение научных результатов заключается в развитии взглядов на организацию выполнения задач в зоне чрезвычайной ситуации и в разработке научно-методического подхода повышения эффективности организации ремонта поврежденной в районе чрезвычайной ситуации техники на примере оборудования сборного пункта поврежденных машин.

**Список источников**

1. Котляревский В.А., Ларионов В.И., Суцев С.П. Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология. Т. 1: Аварийный риск. Взрывные и ударные воздействия. М.: Наука, 2005. 696 с.

2. Котляревский В.А., Ларионов В.И., Суцев С.П. Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология. Т. 2: Законы поражения. Прочность и динамика сооружений. М.: Изд-во АСВ, 2008. 640 с.

3. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Системные исследования чрезвычайных ситуаций / под ред. Н.А. Махутова. М.: МГОФ «Знание», 2015. 864 с.
4. Безопасность России. Безопасность и защищенность критически важных объектов. Ч. 1: Научные основы безопасности и защищенности критически важных для национальной безопасности объектов / Н.А. Махутов [и др.]. М.: МГОФ «Знание», 2012. 896 с.
5. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах / Б.Е. Гельфанд [и др.]. М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность» Госгортехнадзора России, 2001. 224 с.
6. Исследование операций: учеб. / Л.А. Егоров [и др.]; под ред. Б.Н. Юркова. М.: Военно-инженерная академия, 1990. 529 с.
7. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле. М.: Воениздат, 1970. 256 с.
8. Егоров Л.А. Статистическое моделирование процессов выполнения военно-инженерных задач. М.: ВИУ, 2000.
9. Седнев В.А., Седнев А.В. Применение метода статистических испытаний для решения инженерных задач и инженерного обеспечения действий спасательных формирований // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2021. № 4. С. 44–63.
10. Седнев В.А. Оценка организации работ по оборудованию пункта полевого водоснабжения. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2021. № 3. С. 82–88.
11. Седнев В.А. Моделирование организации работ по оборудованию пункта полевого водоснабжения // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2021. № 4. С. 59–65.
12. Седнев В.А., Седнев А.В. Оценка эффективности инженерного обеспечения действий спасательных формирований // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2020. № 6. С. 107–126.
13. Седнев В.А., Седнев А.В. Основы математического моделирования инженерного обеспечения действий спасательных формирований // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 4. С. 132–138.
14. Седнев А.В. Особенности информационно-аналитического обеспечения принятия решений в территориальных органах управления // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: материалы V Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Всемирному дню гражданской обороны. Ч. III: Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. 2021. С. 283–293.
15. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд. М.: Наука, 1988. 208 с.

### References

1. Kotlyarevskij V.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. Enciklopediya bezopasnosti: stroitel'stvo, promyshlennost', ekologiya. T. 1: Avarijnyj risk. Vzryvnye i udarnye vozdejstviya. M.: Nauka, 2005. 696 s.
2. Kotlyarevskij V.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. Enciklopediya bezopasnosti: stroitel'stvo, promyshlennost', ekologiya. T. 2: Zakony porazheniya. Prochnost' i dinamika sooruzhenij. M.: Izd-vo ASV, 2008. 640 s.
3. Bezopasnost' Rossii. Pravovye, social'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhicheskie aspekty. Sistemnye issledovaniya chrezvychajnyh situacij / pod red. N.A. Mahutova. M.: MGOF «Znanie», 2015. 864 s.
4. Bezopasnost' Rossii. Bezopasnost' i zashchishchennost' kriticheski vazhnyh ob"ektov. Ch. 1: Nauchnye osnovy bezopasnosti i zashchishchennosti kriticheski vazhnyh dlya nacional'noj bezopasnosti ob"ektov / N.A. Mahutov [i dr.]. M.: MGOF «Znanie», 2012. 896 s.
5. Metodiki ocenki posledstvij avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob"ektah / B.E. Gel'fand [i dr.]. M.: GUP «NTC «Promyshlennaya bezopasnost'» Gosgotekhnadzora Rossii, 2001. 224 s.

6. Issledovanie operacij: ucheb. / L.A. Egorov [i dr.]; pod red. B.N. Yurkova. M.: Voenno-inzhenernaya akademiya, 1990. 529 s.
7. Chuev Yu.V. Issledovanie operacij v voennom dele. M.: Voenizdat, 1970. 256 s.
8. Egorov L.A. Statisticheskoe modelirovanie processov vypolneniya voenno-inzhenernyh zadach. M.: VIU, 2000.
9. Sednev V.A., Sednev A.V. Primenenie metoda statisticheskikh ispytanij dlya resheniya inzhenernyh zadach i inzhenernogo obespecheniya dejstvij spasatel'nyh formirovanij // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. 2021. № 4. С. 44–63.
10. Sednev V.A. Ocenka organizacii rabot po oborudovaniyu punkta polevogo vodosnabzheniya. Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. 2021. № 3. С. 82–88.
11. Sednev V.A. Modelirovanie organizacii rabot po oborudovaniyu punkta polevogo vodosnabzheniya // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. 2021. № 4. С. 59–65.
12. Sednev V.A., Sednev A.V. Ocenka effektivnosti inzhenernogo obespecheniya dejstvij spasatel'nyh formirovanij // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. 2020. № 6. S. 107–126.
13. Sednev V.A., Sednev A.V. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya inzhenernogo obespecheniya dejstvij spasatel'nyh formirovanij // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 4. S. 132–138.
14. Sednev A.V. Osobennosti informacionno-analiticheskogo obespecheniya prinyatiya reshenij v territorial'nyh organah upravleniya // Grazhdanskaya oborona na strazhe mira i bezopasnosti: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. Vsemirnomu dnyu grazhdanskoj oborony. Ch. III: Problemy preduprezhdeniya i likvidacii chrezvychajnyh situacij. 2021. S. 283–293.
15. Ventcel' E.S. Issledovanie operacij: zadachi, principy, metodologiya. 2-e izd. M.: Nauka, 1988. 208 s.



**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 06.09.2022; одобрена после рецензирования: 18.09.2022; принята к публикации: 20.09.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 06.09.2022; approved after review: 18.09.2022; accepted for publication: 20.09.2022

*Сведения об авторах:*

**Владимир Анатольевич Седнев**, профессор кафедры гражданской обороны, защиты населения и территорий Академии ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галужкина, д. 4), доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, почетный работник науки и техники Российской Федерации, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области образования, e-mail: sednev70@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4922-430X>

**Алексей Владимирович Седнев**, студент факультета «Информатика и системы управления» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета) (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), e-mail: Alexsei.ss@mail.ru

*Information about authors:*

**Vladimir A. Sednev**, professor of the department of population and territory protection of the Academy of State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Boris Galushkin st., 4), doctor of technical sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, honored worker of science and technology of the Russian Federation, laureate of the prize of the government of the Russian Federation in the region. science and technology, laureate of the prize of the Government of the Russian Federation in the field of education, e-mail: sednev70@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4922-430X>

**Alexei V. Sednev**, student faculty of informatics and control systems of the Moscow state technical university. N.E. Bauman (national research university) (105005, Moscow, 2nd Baumanskaya st., 5), e-mail: Alexsei.ss@mail.ru

УДК 614.849

## АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ УЩЕРБА ОТ ПОЖАРОВ

**Валерий Ильич Куватов;****Дмитрий Алексеевич Колеров**<sup>✉</sup>.**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**<sup>✉</sup>[dima11rus@inbox.ru](mailto:dima11rus@inbox.ru)

*Аннотация.* Задача снижения ущерба от пожаров является одной из наиболее важных. Для ее решения полезными оказываются модели деления пожароопасных объектов на кластеры, различающиеся по величине ущерба. Получить адекватные математические модели этого типа во многих случаях невозможно в силу их трудной формализации. Налицо противоречие между требованиями адекватности моделей кластеризации и возможностями методов математического моделирования. Один из наиболее продуктивных путей разрешения этого противоречия связан с разработкой моделей на основе технологий интеллектуального анализа больших данных. В статье представлена модель, позволяющая поделить все поднадзорные объекты на кластеры, различающиеся по величине ущерба от пожара. Ущерб от пожара определяется по величине материального ущерба, по количеству погибших и травмированных. Для деления множества пожароопасных объектов на кластеры был использован один из методов интеллектуального анализа данных – иерархический кластерный анализ. В результате все объекты окажутся поделенными на кластеры, ранжированные по величине ущерба от пожара. В отличие от классических моделей эта модель позволяет учитывать особенности реальных пожаров и за счет этого повышать адекватность результатов кластеризации. На этапе профилактики такое деление дает возможность подразделениям государственного пожарного надзора обратить особое внимание на наиболее опасные в пожарном отношении объекты, а руководителю тушения пожара в ходе тушения правильно определить необходимое количество сил и средств, выбрать наиболее подходящий способ тушения.

*Ключевые слова:* адекватность, иерархический кластерный анализ, интеллектуальный анализ больших данных, показатель ущерба, пожароопасный объект, прогнозирование, риск, обучение без учителя, ущерб от пожара, факторы пожара

**Для цитирования:** Куватов В.И., Колеров Д.А. Алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений при прогнозировании ущерба от пожаров // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 119–127.

## INTELLIGENT DECISION SUPPORT ALGORITHM FOR FIRE DAMAGE PREDICTION

**Valery I. Kuvatov;****Dmitry A. Kolerov**<sup>✉</sup>.**Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,****Saint-Petersburg, Russia**<sup>✉</sup>[dima11rus@inbox.ru](mailto:dima11rus@inbox.ru)

*Abstract.* The task of reducing damage from fires is one of the most important. To solve this problem by the forces and means of the state fire service, among other things, models of dividing fire hazardous objects into clusters that differ in the amount of damage turn out to be useful. In many cases, it is impossible to obtain adequate mathematical models of this type due to their difficult formalization. There is a contradiction between the requirements for the adequacy of clustering models and the possibilities of mathematical modeling methods. One of the most

productive ways to resolve this contradiction is related to the development of models based on big data mining technologies. The article presents a model that allows dividing all supervised objects into clusters that differ in the amount of damage from a fire. Damage from a fire is determined by the amount of material damage, by the number of dead and injured. To divide the set of fire hazardous objects into clusters, one of the methods of data mining was used – hierarchical cluster analysis. As a result, all objects will be divided into clusters, ranked by the amount of damage from the fire. Unlike classical models, this model makes it possible to take into account the features of real fires and, due to this, to increase the adequacy of the clustering results. At the prevention stage, such a division allows the state fire supervision departments to pay special attention to the most dangerous objects in terms of fire, and the fire extinguishing manager during the extinguishing process correctly determines the required amount of forces and means, and chooses the most appropriate extinguishing method.

*Keywords:* adequacy, hierarchical cluster analysis, big data mining, damage index, fire hazardous object, forecasting, risk, unsupervised learning, fire damage, fire factors

**For citation:** Kuvatov V.I., Kolerov D.A. Intelligent decision support algorithm for fire damage prediction // *Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia»*. 2022. № 3. P. 119–127.

### Введение

Известно, что в России ежегодно возникает 140–150 тыс. возгораний, в которых гибнет более 500 чел. (на 2021 г. – 529 чел.), а материальный ущерб исчисляется миллиардами рублей [1]. Основная роль в решении задачи по снижению социального и материального ущерба от пожаров возложена на Государственную противопожарную службу МЧС России.

В настоящее время в МЧС России существует множество статистических данных по величине ущерба от пожаров [2] и множество моделей, построенных на основе этой статистики, и классических методов моделирования [3–5]. Модели кластеризации, построенные на основе классических методов моделирования, не могут учитывать все факторы, влияющие на ход и исход пожара. Это связано с большим разнообразием типов пожароопасных объектов и их характеристик, причин возгорания и необходимостью определения законов распределения вероятностей многочисленных факторов пожара, ряд из которых в отдельности может быть малозначимым, но совместно они могут оказывать значительное влияние на величину ущерба.

Таким образом, получить адекватные классические модели разделения пожароопасных объектов на кластеры, различающиеся по величине ущерба от пожара, во многих случаях невозможно в силу их трудной формализации. Налицо противоречие между требованиями адекватности моделей кластеризации и возможностями методов математического моделирования. Один из наиболее продуктивных путей разрешения данного противоречия связан с технологией интеллектуального анализа больших данных [6], что и определяет актуальность статьи.

Величина ущерба для объектов каждого кластера не может быть рассчитана точно, а может быть только спрогнозирована. Прогнозирование это одна из важнейших функций управления процессами принятия решений по снижению ущерба от пожара.

Научная задача заключается в установлении способа выявления закономерности деления пожароопасных объектов на кластеры, различающиеся по величине ущерба от пожаров.

Целью статьи является разработка модели, которая позволит делить все поднадзорные объекты на кластеры, различающиеся по величине материального ущерба от пожаров, по количеству погибших и травмированных.

Новизна результатов заключается в разработке новой модели деления пожароопасных объектов на кластеры по величине ущерба от пожара. В основе модели лежит иерархический кластерный анализ и технология обработки больших данных. В отличие от классических моделей эта модель позволяет учитывать особенности реальных пожаров и за счет этого повышать адекватность результатов кластеризации.

Практическая значимость заключается в том, что на этапе профилактики такое деление дает возможность подразделениям государственного пожарного надзора, в дополнение к требованиям руководящих документов обратить особое внимание на наиболее опасные в пожарном отношении объекты, а руководителю тушения пожара в ходе тушения – правильно определить необходимое количество сил и средств, выбрать наиболее подходящий способ тушения.

### Описание модели

Кластерная модель прогнозирования ущерба от пожаров предназначена для такого деления пожароопасных объектов, чтобы объекты, входящие в один кластер, были максимально «похожи», а объекты из разных кластеров – максимально «различны» [7, 8]. Существует два вида кластерного анализа: иерархический и анализ  $k$  средних. В модели применяется иерархический кластерный анализ, который показывает хорошие результаты при меньшем объеме обучающей выборки, чем метод  $k$  средних. Модель относится к группе моделей машинного обучения без учителя.

На этапе обучения модель анализирует множество обучающих примеров – пожаров с известными характеристиками объекта пожара, причинами возникновения, известной величиной количества погибших, травмированных и материального ущерба, имевших место в прошлом. Затем, модель самостоятельно делит эти пожары на кластеры и определяет характеристики каждого кластера.

На этапе применения модели предьявляется новый, не входящий в обучающую выборку пожароопасный объект. Модель определяет, к какому кластеру относится этот объект. По номеру кластера в дальнейшем устанавливается прогнозируемая величина ущерба и меры для его снижения.

Иерархический кластерный анализ требует большого количества вычислений. Привести пример ручного определения кластеров даже для простейшего варианта данных о прошлых пожарах в рамках статьи невозможно. Для иллюстрации работы модели необходимы компьютерные программы. В модели используется иерархический кластерный анализ, в том виде, как он реализован в программном приложении SPSS [9, 10].

Суть модели, разработанной в данной статье, заключается в следующем. Пусть обучающая выборка состоит из  $N_{\text{выб}}$  пожароопасных объектов.

1. Начальный этап. На начальном этапе каждый пожароопасный объект представляется в виде отдельного кластера. Следовательно, количество кластеров на начальном этапе равно количеству пожароопасных объектов обучающей выборки.

2. Объединение кластеров. На каждом из следующих этапов два ближайших по расстоянию кластера объединяются в один. В качестве расстояния между объектами принято евклидово расстояние, которое является наиболее подходящим вариантом для показателей ущерба, представляемым в виде интервальных данных. Это расстояние определяется по формуле:

$$d_{ij} = \sqrt{(Z_{1i} - Z_{1j})^2 + (Z_{2i} - Z_{2j})^2 + \dots + (Z_{ni} - Z_{nj})^2}, \quad (1)$$

где  $Z_{1i}, Z_{2i}, \dots, Z_{ni}, Z_{1j}, Z_{2j}, \dots, Z_{nj}$  – значения показателей ущерба  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$  для объектов  $i$  и  $j$  соответственно. Расстояние между кластерами определяется по методу межгрупповой связи, в котором расстояние между кластерами есть среднее значение расстояний между всеми возможными парами объектов из объединяющихся кластеров. Пусть количество объектов в одном из объединяющихся кластеров равно  $k$ , а в другом –  $l$ . Тогда общее количество измерений между объектами объединяющихся кластеров будет равно  $k \cdot l$ , а среднее расстояние между объектами по показателю ущерба  $Z_p$  равно:

$$N_p = \frac{1}{k \cdot l} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l r_{ij}^p,$$

где  $r_{ij}^p$  – расстояние между объектом  $i$  первого из объединяющихся кластеров и объектом  $j$  второго кластера по показателю  $p$ . Существуют и другие методы определения расстояния между кластерами. Процесс объединения продолжается до тех пор, пока все пожароопасные объекты не окажутся поделенными на два кластера.

3. Определение оптимального количества кластеров. Анализируется расстояние между парами кластеров, полученных на каждом этапе объединения. Выясняется на каком этапе это расстояние увеличивается скачкообразно. Оптимальным является количество кластеров ( $N_{\text{опт}}$ ), равное разности количества наблюдений ( $N_{\text{выб}}$ ) и количества этапов объединения, после которого расстояние увеличивается скачкообразно ( $n_{\text{эт}}$ ):

$$N_{\text{опт}} = N_{\text{выб}} - n_{\text{эт}}.$$

4. Интерпретация и профилирование кластеров. Вычисляются средние значения каждого показателя для каждого кластера. Эти вычисления необходимы для описания кластеров.

5. Оценка достоверности кластеризации. Вновь решается задача кластеризации. Но в качестве расстояния при ее решении принимается квадрат расстояния по Эвклиду:

$$d_{ij}^2 = (Z_{1i} - Z_{1j})^2 + (Z_{2i} - Z_{2j})^2 + \dots + (Z_{ni} - Z_{nj})^2. \quad (2)$$

Оптимальное количество кластеров, полученное для обоих вариантов расстояний, сравнивается. Если кластеры совпали, модель считается достоверной. В случае несовпадения анализируются иные этапы на предмет скачкообразного изменения расстояния между кластерами. Заметим, что в иерархическом кластерном анализе применяются и другие меры расстояния, например расстояние по Чебышеву.

Кластерная модель прогнозирования ущерба от пожаров в виде алгоритма представлена на рисунке.

Рассмотрим реализацию модели на примере. С учетом ограничений на объем статьи, а также для большей простоты и наглядности изложения в статье рассматривается только одна характеристика объекта пожара – тип объекта. В качестве показателей, характеризующих ущерб, нанесенный пожаром, принимается:  $Z_1$  – количество погибших на пожаре;  $Z_2$  – количество пострадавших на пожаре;  $Z_3$  – величина материального ущерба.

Прогнозируемая величина ущерба, нанесенного пожаром на конкретном объекте, задается точкой в трехмерном пространстве показателей ущерба с координатами  $Z_1$ ,  $Z_2$  и  $Z_3$ . В качестве меры различия между объектами  $i$  и  $j$  по причине, объясненной выше, принято эвклидово расстояние  $d_{ij}$ :

$$d_{ij} = \sqrt{(Z_{1i} - Z_{1j})^2 + (Z_{2i} - Z_{2j})^2 + (Z_{3i} - Z_{3j})^2},$$

где  $Z_{1i}$ ,  $Z_{2i}$ ,  $Z_{3i}$ ,  $Z_{1j}$ ,  $Z_{2j}$ ,  $Z_{3j}$  – значения показателей  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  для объектов  $i$  и  $j$  соответственно.

Пусть обучающая выборка состоит из статистических данных о пожарах в одном из регионов [11]. В результате содержательного анализа данных о пожарах выделено 12 групп объектов, и в каждой группе выделен типовой объект, обладающий усредненными показателями ущерба от пожара (табл. 1).

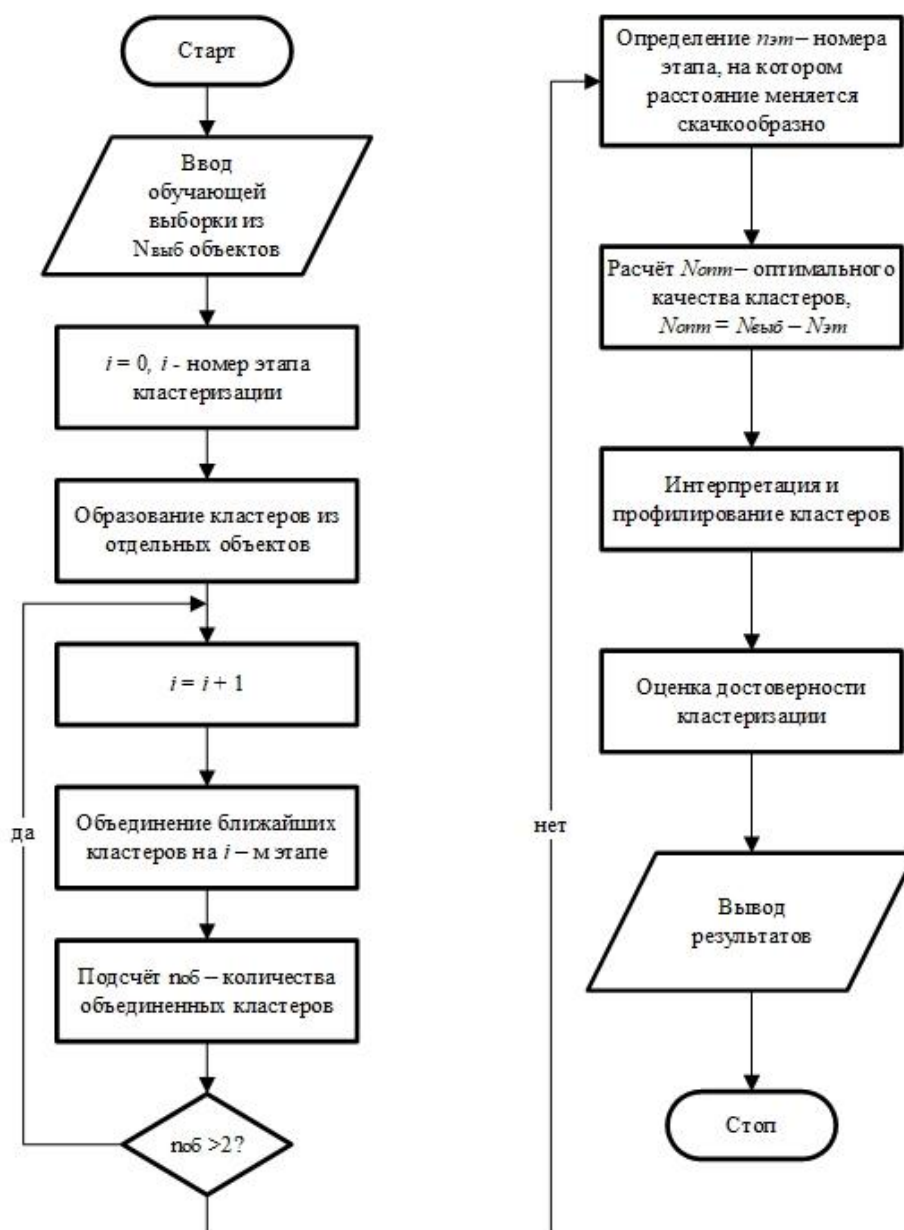


Рис. Алгоритм кластеризации пожароопасных объектов

Таблица 1. Обучающая выборка

№ объекта	Объект пожара	Число погибших	Число травмированных	Материальный ущерб (тыс. у.е.)
1	Сарай	0	0	1
2	Газоконденсатная станция	1	3	40
3	Хозяйственная постройка	0	0	2
4	Жилой дом	3	4	3
5	Здание администрации	0	1	35
6	Нефтеперегонный завод	1	4	40
7	Баня	3	5	2
8	Завод строй оборудования	2	4	38
9	Автозаправочная станция	0	0	12
10	Сеновал	0	0	3
11	Склад мебели	0	0	7
12	Магазин	0	0	10

Представленные в табл. 1 пожароопасные объекты необходимо разделить, на кластеры по следующим критериям [12]:

- количество погибших;
- количество пострадавших;
- величина материального ущерба.

Результаты кластеризации, отображающиеся в *SPSS*, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Таблица последовательности агломерации

Этап	Объединяются		Коэффициенты	Этап первого появления кластера		Следующий номер итерации
	кластер 1	кластер 2		кластер 1	кластер 2	
1	3	10	1	0	0	4
2	2	6	1	0	0	6
3	4	7	2	0	0	9
4	1	3	2,25	0	1	9
5	9	12	4	0	0	7
6	2	8	5,250	2	0	11
7	9	11	16	5	0	8
8	5	9	29,444	0	7	10
9	1	4	29,5	4	3	10
10	1	5	81,283	9	8	11
11	1	2	1110,691	10	6	0

Опишем назначение столбцов этой таблицы.

Столбец «Этап» показывает номер этапа кластеризации. Столбец «Объединяются» содержит 1 и 2 колонки, которые соответствуют номерам кластеров, объединяемых на данном этапе. После объединения кластеру присваивается номер, соответствующий номеру в колонке «Кластер 1» – меньшему номеру объединяющихся кластеров [13]. Так, на первом этапе в кластер объединяются объекты 3 и 10, кластеру присваивается номер 3; на втором этапе в кластер объединяются объекты 2 и 6, кластеру присваивается номер 2; на третьем этапе в кластер объединяются объекты 4 и 7, кластеру присваивается номер 4 и т.д.

Колонка «Коэффициенты» отражает расстояние между кластерами, которые объединяются на данном шаге. Колонка «Этап первого появления кластера» показывает этап, на котором до этого появлялся первый и второй из объединяемых кластеров. Последняя колонка «Следующий этап» показывает, на каком этапе вновь появится кластер, образованный на данном этапе.

Оценим оптимальное число кластеров по таблице последовательности агломерации – табл. 2. Из табл. 2 видно, что первый резкий скачок расстояния между классами наблюдается при переходе от 7 к 8 этапу. Следовательно, оптимальное количество кластеров – то, которое получено на 7 или 8 этапе. Это количество равно численности объектов минус номер шага,  $12-7(8)=5(4)$ . То есть все пожароопасные объекты (табл. 1) следует поделить на 5 или 4 кластера. Выбор того или иного решения будет зависеть уже от содержательных соображений. В статье выделено четыре кластера:

- кластер 1 (содержит объекты № 1, 3, 10) – объекты с незначительными последствиями от пожаров;
- кластер 2 (содержит объекты № 2, 6, 8) – объекты со значительным количеством погибших и травмированных на пожарах людей и ущербом от пожара;
- кластер 4 (содержит объекты № 4, 7) – объекты со значительным количеством погибших и травмированных на пожарах людей и незначительным ущербом от пожара;

– кластер 5 (содержит объекты № 5, 9, 11, 12) – объекты с незначительным количеством погибших и травмированных на пожарах людей и значительным ущербом от пожара.

На этапе оценки достоверности было проведено сравнение результатов кластеризации, выполненной при использовании эвклидова расстояния (формула (1)), и квадрата эвклидова расстояния (формула (2)). Проверка показала совпадение результатов. Следовательно, количество и характеристики кластеров определены правильно.

Таким образом, по типу и характеристикам объекта пожара можно определить ожидаемое количество погибших и травмированных, ожидаемую величину материального ущерба. Это позволит инспектору государственного пожарного надзора МЧС России ранжировать поднадзорные объекты по величине ущерба, а следовательно, более точно рассчитывать риск пожара как произведение величины ущерба на частоту возникновения пожаров, и уделять потенциально опасным объектам наибольшее внимание. В случае возникновения пожара на объекте, руководителю тушения пожара по ожидаемой величине ущерба легче оценить рациональное количество сил и средств, для его ликвидации выбрать метод.

### Выводы

В статье показана возможность и целесообразность кластеризации пожароопасных объектов по величине материального ущерба, количеству погибших и травмированных методом иерархического кластерного анализа с помощью вышеописанной модели. Такая кластеризация позволит лицам, принимающим решения, ранжировать объекты по степени пожарной опасности и на этапе профилактики обратить особое внимание на наиболее опасные объекты, а на этапе тушения пожаров – определить необходимые силы и средства, способы тушения. Пример, иллюстрирующий применение модели, содержит всего 12 объектов, что обусловлено требованиями к объему статьи. Для реально работающей модели требуются намного большие объемы данных.

В дальнейшем предполагается разработать аналогичную модель в российской аналитической платформе Loginom, в которой более полно отражалась бы статистика по пожарам, учитывающая характеристики объектов, причины возгорания и специфические факторы пожаров.

### Список источников

1. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2021 году: государственный доклад. М.: Акад. гражданской защиты МЧС России, 2022. 250 с.
2. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: стат. сборник / В.С. Гончаренко [и др.]. СПб.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
3. Системный анализ и принятие решений / В.С. Артамонов [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 352 с.
4. Матвеев А.В. Методы моделирования и прогнозирования. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 230 с. ISBN 978-5-907116-73-3.
5. Богданова Е.М., Матвеев А.В. Классификация методов прогнозирования чрезвычайных ситуаций // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2018. № 4 (24). С. 61–70. EDN YTPZYU.
6. Куватов В.И., Малыгин И.Г., Смирнов А.С. Интеллектуальные технологии в системах управления МЧС России: учеб. пособие. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2013.
7. Дали Ф.А. Кластерный анализ как инструмент управления пожароопасными событиями в социально-экономических системах населенных пунктов // Инженерный вестник Дона. 2021. № 8 (80). С. 117–126. EDN KHYYSL.



8. Применение кластерного анализа в решении задач управления пожароопасными событиями в социально-экономических системах / Г.Л. Шидловский [и др.] // Техносферная безопасность. 2021. № 1 (30). С. 72–78. EDN TOVDWO.
9. Куватов В.И., Юнцова О.С., Залаев Р.У. Методика формирования перечня проверяемых объектов для включения в ежемесячный план-график работы инспектора государственного пожарного надзора // Проблемы управления рисками в техносфере. 2010. № 1 (13). С. 6–10.
10. Крыштановский А.О. Анализ социологических данных с помощью пакета SPSS. М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2006. 280 с.
11. Tiutiunyk V., Ruban I., Tiutiunyk O. Cluster analysis of the regions of Ukraine by the number of the arisen emergencies // 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T). IEEE, 2020. С. 1–6.
12. A research of emergency classification based fuzzy AHP and cluster analysis / S. Shasha [et al.] // 2011 International Conference on Future Computer Science and Education. IEEE, 2011. С. 646–649.
13. Morris S.K., Nguyen C.K. A review of the cluster survey sampling method in humanitarian emergencies // Public health nursing. 2008. № 25(4). С. 370–374.

### References

1. О состоянии зашщиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2021 году: государственньй доклад. М.: Акад. гражданскои зашщиты МЧС России, 2022. 250 с.
2. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: стат. сборник / В.С. Гончаренко [и др.]. СПб.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
3. Системньй анализ и принятие решений / В.С. Артамонов [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 352 с.
4. Matveev A.V. Methods of modeling and forecasting. СПб.: С.-Петербург. ун-та Государственной службы по чрезвычайным ситуациям МЧС России, 2022. - 230 p. ISBN 978-5-907116-73-3.
5. Bogdanova E.M., Matveev A.V. Classification of emergency forecasting methods // National Security and Strategic Planning. 2018. № 4 (24). С. 61–70. EDN YTPZYL.
6. Kuvatov V.I., Malygin I.G., Smirnov A.S. Интеллектуальные технологии в системах управления МЧС России: учеб. пособие. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2013.
7. Dali F.A. Кластерньй анализ как инструмент управления пожароопасными событиями в социально-экономических системах населенньх пунктов // Инженерньй вестник Дона. 2021. № 8 (80). С. 117–126. EDN KHYYSL.
8. Применение кластерного анализа в решении задач управления пожароопасными событиями в социально-экономических системах / Г.Л. Шидловский [и др.] // Техносферная безопасность. 2021. № 1 (30). С. 72–78. EDN TOVDWO.
9. Zalaev R.U., Kuvatov V.I., Yuncova O.S. Методика формирования перечня проверяемых объектов для включения в ежемесячный план-график работы инспектора государственного пожарного надзора // Проблемы управления рисками в техносфере. 2010. № 1 (13). С. 6–10.
10. Kryshchanovskij A.O. Analiz sociologicheskikh dannyh s pomoshch'yu paketa SPSS. М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2006. 280 с.
11. Tiutiunyk V., Ruban I., Tiutiunyk O. Cluster analysis of the regions of Ukraine by the number of the arisen emergencies // 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T). IEEE, 2020. С. 1–6.
12. A research of emergency classification based fuzzy AHP and cluster analysis / S. Shasha [et al.] // 2011 International Conference on Future Computer Science and Education. IEEE, 2011. С. 646–649.
13. Morris S.K., Nguyen C.K. A review of the cluster survey sampling method in humanitarian emergencies // Public health nursing. 2008. № 25 (4). С. 370–374.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 23.06.2022; одобрена после рецензирования: 04.09.2022; принята к публикации: 07.09.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 23.06.2022; approved after review: 04.09.2022; accepted for publication: 07.09.2022

*Информация об авторах:*

**Валерий Ильич Куватов**, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, e-mail: [kyb.valery@yandex.ru](mailto:kyb.valery@yandex.ru)

**Дмитрий Алексеевич Колеров**, начальник кабинета кафедры системного анализа и антикризисного управления Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [dimal1rus@inbox.ru](mailto:dimal1rus@inbox.ru)

*Information about the authors:*

**Valery I. Kuvatov**, professor of the department of system analysis and crisis management of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, e-mail: [kyb.valery@yandex.ru](mailto:kyb.valery@yandex.ru)

**Dmitriy A. Kolerov**, head of the office of the department of system analysis and crisis management of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: [dimal1rus@inbox.ru](mailto:dimal1rus@inbox.ru)

УДК 004.055

## **СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МОБИЛЬНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ И ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ**

**Алексей Владимирович Вострых;****Александр Владимирович Матвеев<sup>✉</sup>;****Андрей Михайлович Перлин;****Иван Игоревич Попивчак.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия****<sup>✉</sup>[fcvega\\_10@mail.ru](mailto:fcvega_10@mail.ru)**

*Аннотация.* Сегодня мобильные приложения специализированного профиля пользуются особой популярностью в связи с развитием новых цифровых технологий и повсеместным использованием смартфонов. Проведённый анализ существующего мобильного программного обеспечения выявил ряд серьёзных недостатков, которые влияют на успех взаимодействия и получения пользователями желаемого результата. В условиях происшествий, когда требуется помощь экстренных служб, мобильное приложение должно корректно, быстро и точно выполнять свои функции, так как от этого может зависеть жизнь и здоровье его владельца. В статье проведен сравнительный анализ специализированных мобильных приложений, а также предложен ряд решений по повышению их эффективности.

*Ключевые слова:* мобильное приложение, чрезвычайная ситуация, графический пользовательский интерфейс, целевая аудитория, смартфон

**Для цитирования:** Вострых А.В., Матвеев А.В., Перлин А.М., Попивчак И.И. Специализированные мобильные приложения в сфере безопасности: сравнительный анализ решений и возможности развития // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 128–137.

## **SPECIALIZED SECURITY MOBILE APPS: COMPARATIVE ANALYSIS OF SOLUTIONS AND DEVELOPMENT OPPORTUNITIES**

**Alexey V. Vostrykh;****Alexander V. Matveev<sup>✉</sup>;****Andrei M. Perlin;****Ivan I. Popivchak.****Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,****Saint-Petersburg, Russia****<sup>✉</sup>[fcvega\\_10@mail.ru](mailto:fcvega_10@mail.ru)**

*Abstract.* Today mobile applications of a specialized profile are especially popular due to the development of new digital technologies and the widespread use of smartphones. The analysis of existing mobile software revealed a number of serious shortcomings that affect the success of interaction and obtaining the desired result. In case of incidents, when the help of emergency services is required, the mobile application must perform its functions correctly and quickly, as the life and health of its owner depends on it. The article provides a comparative analysis of specialized mobile applications, as well as a number of solutions to improve their efficiency.

*Keywords:* mobile application, emergency, graphical user interface, target audience, smartphone

**For citation:** Vostrykh A.V., Matveev A.V., Perlin A.M., Popivchak I.I. Specialized security mobile apps: comparative analysis of solutions and development opportunities // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 128–137.

### Введение

Анализ существующих мобильных приложений специализированного профиля показал наличие широкого спектра программного обеспечения данного сегмента [1–8]. Приложения ориентированы на работу экстренных служб в таких ситуациях, как дорожно-транспортные происшествия, чрезвычайные ситуации (ЧС) природного и техногенного характера, а также для помощи гражданам в индивидуальных происшествиях, связанных с ухудшением их здоровья [2–5].

Большинство приложений разработаны на базе операционных систем iOS и Android (с небольшим преобладанием iOS) [9–12]. Несмотря на меньшее количество Android-приложений, они чаще являются бесплатными, что напрямую влияет на частоту их скачивания и использования. Также в отличие от каталога приложений «App Store» в «Google Play» содержится больше сведений о технических аспектах приложений (например, потребность в ресурсах мобильного устройства). Именно по этой причине для большинства исследований используется каталог «Google Play» [1, 10]. Также в нём более удобен сбор информации о доступных приложениях.

### Методы исследования

В настоящей работе проведён анализ существующих специализированных мобильных приложений с помощью модели, разработанной в статье (рис. 1) [1].

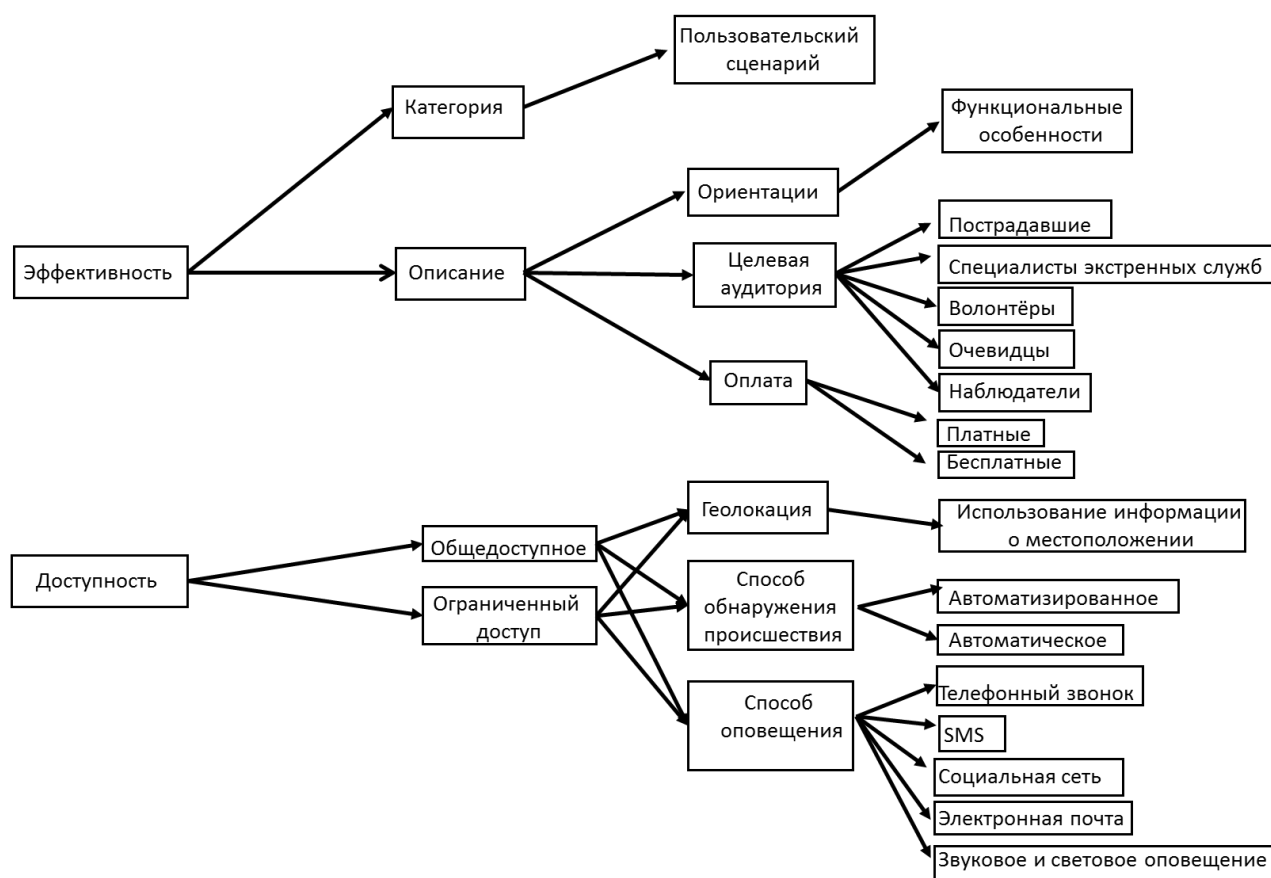


Рис. 1. Модель анализа мобильных приложений

Данную модель предлагается усовершенствовать, включив в пункт эффективность, подраздел графический пользовательский интерфейс (ГПИ), так как от этого элемента зависят многие показатели эффективности взаимодействия пользователя с приложением.

### Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведённого анализа отечественного и зарубежного сегмента мобильного программного обеспечения было выявлено, что на сегодняшний день общее количество специализированных приложений превышает 300 наименований.

В табл. 1 представлены результаты сегментации зарубежных приложений по их функциональному назначению (ориентации).

Таблица 1. Сегментация приложений по их функциональной ориентации и процентному соотношению на рынке

Назначение	Соотношение к общему количеству	Примеры приложений
1	2	3
Оказание первой медицинской помощи	127 (43,8 %)	«Rescue Application (Emergency Call)» «iSOS» «I am near Application» «Aidminutes.rescue COVID-19»
Помощь при авиационных происшествиях	4 (2,8 %)	«Notfall App Bergrettung Tirol» «Rega»
Мониторинг и контроль безопасности	3 (1,8 %)	«UAlberta» «Domestic Map of Security Threats» «GDACSmobile»
Световое или звуковое оповещение	14 (3,6 %)	«RSO – Regional Warning System» «Emergency Rescue Alarm»
Обращение за помощью в полицию	58 (15,2 %)	«Emergency Panic Button» «Guard My Angel» «SOSbeacon» «I am near Application» «RESCUER App»
Дорожно-транспортные происшествия	45 (18 %)	«Emergency Alert» «Car Crash Emergency App»
Вызов служб спасения при пожаре	27 (5,8 %)	«Ready Plan» «I am near Application» «GDACSmobile»
Информирование о стихийных бедствиях и предупреждение о неблагоприятных погодных условиях	32 (12,8 %)	«RSO – Regional Warning System» «Pro Weather Alert» «Disaster Alert» «GDACSmobile»
Предоставление инструкций при ЧС	106 (30,4 %)	«Dangerous Goods Manual» «Cargo Decoder» «Disaster Survival Guide» «Domestic Map of Security Threats» «GDACSmobile»
Отслеживание местоположения	4 (2,8 %)	«ICE: Emergency Contact» «EchoSOS» «SOS EU ALP»
Предоставление инструкций по эвакуации	9 (3,6 %)	«Ready TN» «Arlington Prepares» «Volunteer Rescue Application»

1	2	3
Получение информации о произошедших инцидентах	16 (4,4 %)	«Fema» «National Disaster Safety Center» «SmartRescue»
Предоставление инструкций при происшествиях, связанных с домашними животными	4 (2,8 %)	«Volunteer Rescue Application» «My Pet Record» «GDACSmobile»

К некоторым недостаткам исследованных зарубежных приложений можно отнести [1–6]:

- длительную загрузку;
- проблемы подключения к серверу;
- несвоевременную отправку уведомлений;
- сложную регистрацию в системе;
- проблемы с ГПИ, например: нечитаемый шрифт, раздражающая цветовая схема, запутанная логика взаимодействия);
- сокращение функциональных возможностей при отсутствии интернет соединения;
- потребление значительных ресурсов памяти мобильного устройства.

На отечественном рынке в настоящее время наибольшей популярностью пользуются следующие приложения: «112 – Экстренная помощь», «Приложение МЧС России», «Спасатель.Рядом», «Термические точки МЧС», «Спасенная жизнь» [2–5].

Выявленными недостатками данных программ при их использовании являются [2–4]:

- частые сбои и зависания;
- неточная геолокация;
- искажение изображений при работе с камерой;
- отсутствие звуковых сигналов при поступлении сообщений (проблемы с ГПИ);
- сложная регистрация в системе;
- высокая энергозатратность;
- длительная загрузка;
- низкая эффективность ГПИ;
- слабая техническая поддержка;
- сбои в работе при получении вызова.

В табл. 2 представлен сравнительный анализ мобильных приложений в разрезе выявленных недостатков.

Проведённый сравнительный анализ показал, что качество отечественных специализированных мобильных приложений на порядок ниже зарубежных. Наиболее низкий рейтинг имеют приложения: «МЧС России», «Термические точки МЧС», «Спасенная жизнь». Из всего спектра недостатков основными проблемами приложений являются: низкая эффективность ГПИ, сложность регистрации (что также отчасти связано с интерфейсом) и снижение функциональных возможностей при отсутствии интернет соединения.

В зарубежном сегменте наиболее низким качеством обладают следующие приложения: «RESCUER App», «Emergency Rescue Alarm», «Disaster Alert», «Cargo Decoder», «Disaster Survival Guide», «My Pet Record», «Arlington Prepares», «Disaster Alert». Основные проблемы приложений также связаны с эффективностью ГПИ, интерактивностью (проблемы взаимодействия с экстренными службами) и слабой технической поддержкой.

Общий рейтинг недостатков показал, что 70 % приложений обоих сегментов имеют проблемы с эффективностью ГПИ. Таким образом, при разработке новых специализированных программных продуктов следует уделять особое внимание их интерфейсам. На рис. 2 представлена диаграмма пропорционального сравнения количества недостатков по каждому критерию среди отечественных и зарубежных специализированных мобильных приложений.

Таблица 2. Сравнительный анализ мобильных приложений

Сегмент	Название	Недостатки											Рейтинг приложений	
		Длительная загрузка	Проблемы с сервером	Регистрация	ГПИ	Интернет-соединения	Ресурсозатратность	Сбои и зависания	Геолокация	Техническая поддержка	Мультимедиа	Вызовы		Интерактивность
Отечественный	112 – Экстренная помощь	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	6
	МЧС России	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	4
	Спасатель.Рядом	-	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	7
	Термические точки МЧС	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	4
	Спасенная жизнь	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	4
Рейтинг недостатков		3	1	4	5	4	1	4	3	3	2	2	3	
Зарубежный	Rescue Application	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	9
	Aidminutes	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	10
	I am near Application	+	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	8
	iSOS	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	10
	NAB Tirol	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	9
	Rega	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	11
	UAlberta	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	9
	DMS Threats	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	8
	GDACSmobile	-	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	8
	RSO	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	11
	RESCUER App	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	6
	SOSbeacon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	10
	Guard My Angel	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	9
	Emergency Panic Button	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	9
	Emergency Rescue Alarm	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-	-	4
	Emergency Alert	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	11
	CC Emergency App	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	+	7
	Ready Plan	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
	GDACSmobile	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	10
	Pro Weather Alert	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	8
	Disaster Alert	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	6
	Dangerous Goods Manual	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	8
	«Cargo Decoder»	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	5
	Disaster Survival Guide	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+	3
	ICE: Emergency Contact	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	9
	EchoSOS	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	8
	SOS EU ALP	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	7
	Ready TN	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	8
	Arlington Prepares	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	6
	VR Application	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	8
Fema	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	10	
NDS Center	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	10	
SmartRescue	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	+	-	7	
My Pet Record	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	6	
GDACSmobile	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	9	
Рейтинг недостатков		9	8	11	23	8	10	10	8	12	10	6	17	
Общий рейтинг недостатков		12	9	15	28	12	11	14	11	15	12	8	20	

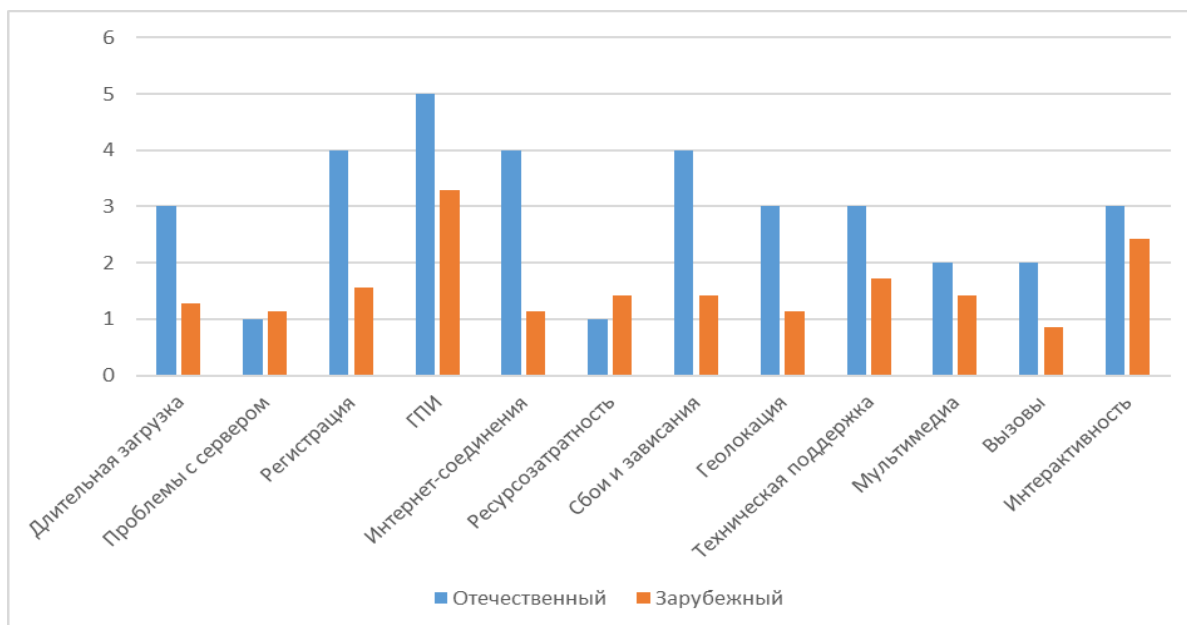


Рис. 2. Сравнение количества недостатков по каждому критерию

Из гистограммы видно, что за исключением ресурсозатратности и проблем с сервером, отечественные приложения значительно уступают по остальным пунктам зарубежным аналогам.

Основными пользователями рассмотренных приложений мирового рынка являются в 60 % – пострадавшие; 15 % – специалисты спасательных служб; 15 % – волонтеры; 5 % – очевидцы; 5 % – наблюдатели [11–14].

Наиболее востребованными функциями приложений являются [15–17]:

- определение местоположения;
- доступ к коммуникационным ресурсам;
- использование средств связи.

Рассмотренные специализированные мобильные приложения имеют ряд требований к пользовательским настройкам, что усложняет работу с ними и снижает уровень доверия:

- необходим доступ к персональным данным;
- необходим доступ к функции GPS и сетевой системы определения местоположения;
- необходим доступ к событиям календаря, списку контактов или системным журналам;
- необходим доступ к датчикам мобильного устройства (акселерометр, гироскоп, магнитометр, барометр, шагомер, датчик приближения, датчик освещенности, дактилоскопический сенсор).

Для устранения данного недостатка и повышения уровня доверия необходимо проводить больше профилактических мероприятий по объяснению необходимости данных этого типа, а также повышать безопасность и отказоустойчивость программного кода.

Таким образом, в результате анализа были выявлены достоинства и недостатки программных продуктов специализированного профиля, разработанных под мобильные устройства. Полученные данные необходимо учитывать при создании новых приложений, спроектированных с учётом опыта существующих продуктов и устранением выявленных уязвимостей.

Также с целью повышения эффективности взаимодействия с приложениями предлагается включить в их интерфейсы различные режимы, соответствующие ситуации или позиции, в которой находится пользователь: «пострадавшие», «специалисты экстренных служб», «волонтеры», «очевидцы», «наблюдатели» [18–21]. Это позволит упростить



интерфейс, снизив время поиска элементов ГПИ и информации, а также ускорит процесс взаимодействия с системой, например:

- в режиме «пострадавший» должна быть обеспечена лёгкая и быстрая отправка уведомлений о происшествиях, автоматический сбор информации, обнаружение места происшествия, возможность вызова волонтеров, предоставление справочной информации о происходящем происшествии. Смартфон должен автоматически оптимизировать свои ресурсы для обеспечения максимально долговременной работы (например, оптимизация заряда батареи);

- в режиме «свидетель» пользователю должен предоставляться функционал для возможности подтвердить информацию о происшествии (отправка фото, видео материалов в спасательные службы);

- в режиме «волонтер» пользователям предоставляется функционал, способствующий определению местоположения пострадавших и характер их травм по средствам оповещений;

- в «информационном режиме» приложение работает как постоянный канал связи с экстренными службами. Оно может получать информацию о местоположении, близлежащих инцидентов, а также отправлять рекомендации по поведению гражданам, находящимся в зоне происшествия или вблизи этого места.

Особое внимание при разработке приложений должно уделяться режиму «пострадавший», так как человек в экстренной ситуации находится в уязвимом положении, при котором уровень когнитивной нагрузки воздействия приложения на пользователей должен быть снижен, путём предоставления различных способов взаимодействия с экстренными службами, например: способ «в один клик», чат и т.д. Также необходимо уменьшение количества вопросов, предъявляемых пользователю (или предоставлять вопросы с вариантами ответов), использовать проверенные метафоры (например, однозначные значки, иконки).

### Выводы

Разрабатываемые приложения должны быть доступны для установки на всех известных платформах, независимо от операционных систем мобильных устройств.

В случае массового происшествия, приложение должно автоматически получать и отправлять информацию (например, при получении от аналогичного приложения сигнала массового происшествия, пользователям, находящимся вблизи рассылаются инструкции, рекомендации и информация о происшествии).

Также необходимо внедрять в программное обеспечение технологии машинного обучения, которые, например, позволят прогнозировать поведение людей при пожаре [22], строить пути эвакуации и т.д. Датчики, встроенные в смартфон, могут воспринимать и отправлять контекстную информацию относительно окружения своего владельца, например, влажность, давление, температуру, движение, на основе которых возможно осуществлять моделирование происшествия и делать прогнозы по его развитию.

Машинное обучение также необходимо использовать в ГПИ смартфонов, которые на основе моделей поведения людей в экстремальных ситуациях должны динамически изменяться и влиять на пользователей с целью оказания им информационной помощи и координации их действий.

**Исследование проведено при поддержке Проекта KS11043 CB-SAFE ППС 2014-2020 Россия – Юго-Восточная Финляндия «Трансграничная безопасность: предотвращение чрезвычайных ситуаций и управление рисками».**

**Список источников**

1. A Review on Mobile Applications for Citizen Emergency Management / D. Gómez [et al.] // RAAMS 2013 Workshops, CCIS 365. 2013. P. 190–201.
2. Вострых А.В. Анализ интерфейсов специализированных мобильных приложений для вызова экстренных служб // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2021. № 2 (9). С. 78–82.
3. Вострых А.В. Анализ инновационных технологий, обеспечивающих безопасность граждан в техносферных системах: сб. статей по материалам XVII Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж. 2021. С. 205–210.
4. Tusnio N. Applications for mobile devices informing about threats. The Main School of Fire Service // Faculty of Fire Safety Engineering. Warsaw, Poland. 2018. P. 2–8.
5. Sarshar P., Nunavath V., Radianti J. On the Usability of Smartphone Apps in Emergencies. An HCI Analysis of GDACS mobile and SmartRescue Apps // On the Usability of Smartphone Apps in Emergencies. 2015. P. 765–774.
6. Interaction Modes for Emergency Mobile Apps / C. Nass [et al.] // Mobile Information Systems. Hindawi. 2018. P. 1–24.
7. Carver L., Turoff M. Human-computer interaction: the human and computer as a team in emergency management information systems // Commun. ACM 2007. № 50 (3). P. 33–38.
8. Salazar L.H.A., Lacerda T., Nunes J.V. A systematic literature review on usability heuristics for mobile phones // Int. J. Mob Hum. Comput. Interact. (IJMHCI). 2013. № 5 (2). P. 50–61.
9. Love S. Understanding Mobile Human-Computer Interaction // Butterworth-Heinemann. Newton. 2005. P. 24–32.
10. Wigdor D., Wixon D. Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture. Elsevier. Amsterdam. 2011. P. 115–128.
11. Schleicher R., Westermann T., Reichmuth R. Mobile Human Computer–Interaction Quality of Experience. Springer, Heidelberg, 2014. P. 339–349.
12. Буйневич М.В., Максимов А.В., Вострых А.В. Анализ результатов аудита сетевых информационных ресурсов МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 1. С. 101–110.
13. Юркин Г.Ю., Шубкин Р.Г., Карелин Е.Н. Обзор мобильного приложения «МЧС России» и его аналогов // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. 2021. № 1 (1). С. 23–29.
14. Калинин И.И., Марков И.С., Петросян С.Х. Перспективные пути совершенствования мобильного приложения «МЧС России» // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2021. № 1 (8). С. 168–170.
15. Головач В.В. Дизайн пользовательского интерфейса. Usethics. 2005–2008. 97 с.
16. Купер А., Рейман Р., Кронин Д. Основы проектирования взаимодействия. СПб.: Символ, 2010. 688 с.
17. Джеф Р. Интерфейс Новые направления в проектировании компьютерных систем. СПб.; М.: Символ, 2007. 257 с.
18. Уэйншенк С. 100 главных принципов дизайна. Как удержать внимание. СПб.: Питер, 2011. 272 с.
19. Кузьмина Т.А., Ильницкий С.В., Ефремов П.В. Перспективы цифровизации деятельности аэромобильных группировок МЧС России // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2019. № 3 (27). С. 91–95. EDN UZSSLG.
20. Designing context-aware HCI for collaborative emergency management / F. Flentge [et al.] // Paper presented at the International Workshop on HCI for Emergencies in Conjunction with CHI. 2008. P. 139–151.
21. Improving Usability of Integrated Emergency Response Systems: The SoKNOS Approach / H. Paulheim [et al.] // Paper presented at the GI Jahrestagung. 2009. P. 29–43.

22. Коткова Е.А., Матвеев А.В. Методика интеллектуального прогнозирования эффективности управления эвакуацией людей из общественных зданий // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 4. С. 107–120. EDN PLARHX.

### References

1. A Review on Mobile Applications for Citizen Emergency Management / D. Gómez [et al.] // PAAMS 2013 Workshops, CCIS 365. 2013. P. 190–201.
2. Vostryh A.V. Analiz interfejsov specializirovannyh mobil'nyh prilozhenij dlya vyzova ekstremnyh sluzhb // Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost': problemy i puti sovershenstvovaniya. 2021. № 2 (9). S. 78–82.
3. Vostryh A.V. Analiz innovacionnyh tekhnologij, obespechivayushchih bezopasnost' grazhdan v tekhnosfernnyh sistemah: sb. statej po materialam XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Voronezh. 2021. S. 205–210.
4. Tusnio N. Applications for mobile devices informing about threats. The Main School of Fire Service // Faculty of Fire Safety Engineering. Warsaw, Poland. 2018. P. 2–8.
5. Sarshar P., Nunavath V., Radianti J. On the Usability of Smartphone Apps in Emergencies. An HCI Analysis of GDACS mobile and SmartRescue Apps // On the Usability of Smartphone Apps in Emergencies. 2015. P. 765–774.
6. Interaction Modes for Emergency Mobile Apps / C. Nass [et al.] // Mobile Information Systems. Hindawi. 2018. P. 1–24.
7. Carver L., Turoff M. Human-computer interaction: the human and computer as a team in emergency management information systems // Commun. ACM. 2007. № 50 (3). P. 33–38.
8. Salazar L.H.A., Lacerda T., Nunes J.V. A systematic literature review on usability heuristics for mobile phones // Int. J. Mob Hum. Comput. Interact. (IJMHCI). 2013. № 5 (2). P. 50–61.
9. Love S. Understanding Mobile Human-Computer Interaction // Butterworth-Heinemann. Newton. 2005. P. 24–32.
10. Wigdor D., Wixon D. Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture. Elsevier. Amsterdam. 2011. P. 115–128.
11. Schleicher R., Westermann T., Reichmuth R. Mobile Human Computer-Interaction Quality of Experience. Springer, Heidelberg. 2014. P. 339–349.
12. Bujnevich M.V., Maksimov A.V., Vostryh A.V. Analiz rezul'tatov audita setevyh informacionnyh resursov MCHS Rossii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 1. S. 101–110.
13. Yurkin G.Yu., Shubkin R.G., Karelin E.N. Obzor mobil'nogo prilozheniya «MCHS Rossii» i ego analogov // Aktual'nye problemy bezopasnosti v tekhnosfere. 2021. № 1 (1). S. 23–29.
14. Kalinin I.I., Markov I.S., Petrosyan S.H. Perspektivnye puti sovershenstvovaniya mobil'nogo prilozheniya «MCHS Rossii» // Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost': problemy i puti sovershenstvovaniya. 2021. № 1 (8). S. 168–170.
15. Golovach V.V. Dizajn pol'zovatel'skogo interfejsa. Usethics. 2005–2008. 97 с.
16. Kuper A., Rejman R., Kronin D. Osnovy proektirovaniya vzaimodejstviya. SPb.: Simvol, 2010. 688 с.
17. Dzhef R. Interfejs Novye napravleniya v proektirovanii komp'yuternykh sistem. SPb.; M.: Simvol, 2007. 257 с.
18. Uejnshenk S. 100 glavnykh principov dizajna. Kak uderzhat' vnimanie. SPb.: Piter, 2011. 272 с.
19. Kuz'mina T.A., Il'nickij S.V., Efremov P.V. Perspektivy cifrovizacii deyatel'nosti aeromobil'nyh gruppirovok MCHS Rossii // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2019. № 3 (27). S. 91–95. EDN UZSSLG.
20. Designing context-aware HCI for collaborative emergency management / F. Flentge [et al.] // Paper presented at the International Workshop on HCI for Emergencies in Conjunction with CHI. 2008. P. 139–151.

21. Improving Usability of Integrated Emergency Response Systems: The SoKNOS Approach / H. Paulheim [et al.] // Paper presented at the GI Jahrestagung. 2009. P. 29–43.
22. Kotkova E.A., Matveev A.V. Metodika intellektual'nogo prognozirovaniya effektivnosti upravleniya evakuaciej lyudej iz obshchestvennyh zdaniy // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 4. S. 107–120. EDN PLARHX.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 15.09.2022; одобрена после рецензирования: 16.09.2022; принята к публикации: 20.09.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 15.09.2022; approved after review: 16.09.2022; accepted for publication: 20.09.2022

*Сведения об авторах:*

**Алексей Владимирович Вострых**, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: a.vostrykh@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8261-0712>

**Александр Владимирович Матвеев**, заведующий кафедрой прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: fcvega\_10@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>

**Андрей Михайлович Перлин**, начальник центра международной деятельности и информационной политики Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д.149), e-mail: perlin@igps.ru;

**Иван Игоревич Попивчак**, старший преподаватель кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д.149), e-mail: white\_blade@bk.ru

*Information about authors:*

**Alexey V. Vostrykh**, adjunct of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), e-mail: a.vostrykh@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8261-0712>

**Alexander V. Matveev**, head of the department of applied mathematics and information technologies of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: fcvega\_10@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>

**Andrey M. Perlin**, head of the center for international activities and information policy of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), e-mail: perlin@igps.ru;

**Ivan I. Popivchak**, senior lecturer, department of applied mathematics and information technologies of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), e-mail: white\_blade@bk.ru

---

---

# ЭКОНОМИКА, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

---

---

УДК 004+330.101

## ВОПРОСЫ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ ТРАНСФОРМАЦИЕЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ РОССИИ

Ирина Васильевна Бородушко<sup>✉</sup>;

Александр Алексеевич Таранцев.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

<sup>✉</sup>[bi08@me.com](mailto:bi08@me.com)

*Аннотация.* Целью проведенного исследования являлось осмысление ситуации в области решения первоочередных задач по управлению организационно-экономическими системами в стране. Такое управление в условиях усиливающейся гибридной войны Запада против России должно носить проблемно-ориентированный характер. Это предполагает высокий уровень научно-методологической базы и информационно-аналитического сопровождения. В частности, актуален вопрос о соотношении задач в области сквозной технологизации и структурной трансформации национальной экономики России.

При подготовке статьи были использованы методы теории управления сложными системами, методы построения индексных моделей и графический метод представления сравнительной статистической информации.

В результате проведенного исследования были получены следующие основные авторские выводы. Приоритетной задачей в области управления организационно-экономическими системами в современных условиях является сквозная технологизация, их структурная трансформация выступает при этом и как механизм, и как результат технологизации. Стремительный процесс формирования новой модели проблемно-ориентированного управления экономикой должен опираться на научно-методологическую базу. Однако научные исследования в данной области отстают от запросов практики.

На основе данных официальной статистики был проведен анализ структурных сдвигов в российских организационно-экономических системах за 2010–2020 гг. На основе оценки трендов динамики и индексного анализа выявлено отсутствие реальных качественных сдвигов в структуре национальной экономики. Соответственно, не был ранее накоплен опыт эффективного проблемно-ориентированного управления данным процессом.

*Ключевые слова:* управление, проблемно-ориентированное управление, организационно-экономические системы, структура экономики, структурная перестройка, сквозная технологизация, экономический суверенитет, теория управления, индексный метод

**Для цитирования:** Бородушко И.В., Таранцев А.А. Вопросы проблемно-ориентированного управления структурной трансформацией организационно-экономических систем России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 138–146.

## ISSUES OF PROBLEM-ORIENTED MANAGEMENT OF STRUCTURAL TRANSFORMATION OF ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC SYSTEMS OF RUSSIA

Irina V. Borodushko✉;

Alexander A. Tarantsev.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉bi08@me.com

*Abstract.* The purpose of the study was to comprehend the situation in the field of solving the priority tasks of managing organizational and economic systems in the country. Such management in the context of the growing hybrid war of the West against Russia should be problem-oriented. This implies a high level of scientific and methodological base and information and analytical support. In particular, the issue of the correlation of tasks in the field of end-to-end technologization and structural transformation of the national economy of Russia is relevant.

In preparing the article, methods of the theory of control of complex systems, methods for constructing index models and a graphical method for presenting comparative statistical information were used.

As a result of the study, the following main author's conclusions were obtained. The priority task in the field of management of organizational and economic systems in modern conditions is end-to-end technologization, their structural transformation acts both as a mechanism and as a result of technologization. The rapid process of forming a new model of problem-oriented economic management should be based on a scientific and methodological basis. However, scientific research in this area lags behind the demands of practice.

Based on official statistics, an analysis of structural shifts in Russian organizational and economic systems for 2010–2020 was carried out. Based on the assessment of trends in dynamics and index analysis, the absence of real qualitative changes in the structure of the national economy was revealed. Accordingly, the experience of effective problem-oriented management of this process has not been previously accumulated.

*Keywords:* management, problem-oriented management, organizational and economic systems, structure of the economy, restructuring, end-to-end technologization, economic sovereignty, management theory, index method

**For citation:** Borodushko I.V., Tarantsev A.A. Issues of problem-oriented management of structural transformation of organizational and economic systems of Russia // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 138–146.

### Введение

Перед Российской Федерацией остро встал вопрос о необходимости адаптации макроэкономической системы страны к условиям организованной западным блоком недружественных стран нелегитимного беспрецедентного санкционного давления. Основной путь решения данного вопроса заключается в переходе на проблемно-ориентированный принцип управления экономикой как особой сложной организационной системой. На уровне высших органов государственной власти в качестве ключевой задачи на ближайшую перспективу определена структурная трансформация организационно-экономической системы на национальном уровне. Данная задача активно декларировалась уже ряд лет, но ее реализация продолжала оставаться «вялотекущим» процессом.

На пленарном заседании Петербургского международного экономического форума (ПМЭФ-2022), прошедшем под девизом «Новый мир – новые возможности», В.В. Путин в своем выступлении отметил наличие стимулов «к построению экономики, обладающей

полным, а не частичным технологическим, производственным, кадровым, научным потенциалом и суверенитетом» [1]. Президент Российской Федерации сформулировал шесть базовых принципов долгосрочного развития экономики России: открытость, опора на предпринимательскую свободу, ответственная и сбалансированная макроэкономическая политика, социальная справедливость, опережающее развитие инфраструктуры, технологический суверенитет.

Президент Российской Федерации также определил пять важнейших механизмов управления точками индустриального роста – промышленными кластерами, которые должны эффективно функционировать уже с 1 января 2023 г. Такими механизмами являются: финансирование, налогообложение, поддержка производителей на стартовой стадии, упрощение администрирования, создание максимальных гарантий долгосрочного спроса на инновационную продукцию. Переход всех сфер жизни на качественно новый технологический уровень как сквозной процесс должен обеспечить создание эффективной организационной макросистемы – «техноэкономики».

Обозначенные выше два основных вектора управления развитием экономики России – структурная трансформация и сквозная технологизация предполагают необходимость их научной проработки и осмысления в теоретическом и прикладном аспектах. В рамках данной статьи автором решались две задачи:

– определить точки соприкосновения и пути гармонизации двух направлений в управлении развитием экономики – структурной перестройки и сквозной технологизации (включая цифровые технологии);

– оценить степень готовности и накопленный опыт в области оптимизации структуры организационно-экономической системы России, их соответствие новым целевым координатам в области обеспечения экономического суверенитета и макроэкономической стабильности.

### **Методы исследования**

В работе использованы такие методы научного исследования, как положения теории управления сложными системами, методы мониторинга экономических процессов, математико-статистическое моделирование и графическое представление числовой информации.

### **Результаты исследования**

Грядущая быстрая структурная перестройка экономики России, признаваемая как безальтернативная составляющая перехода на новую модель функционирования организационных макросистем, актуальна для всех участников общественных отношений – институтов власти, гражданского общества, бизнеса, населения. В рамках данной статьи вопрос о структурной трансформации экономики будет рассматриваться в контексте проблемно-ориентированного управления национальной экономикой.

Исключительная сложность принятия управленческих решений по вопросам структурной трансформации экономико-организационной систем определяется комплексом факторов. Среди них важнейшие:

– предельно высокая неопределенность условий внутренней и внешней среды;

– крайняя ограниченность сроков перехода на новую экономическую модель в сочетании с отсутствием комплексной научно-методологической базы такого перехода;

– необходимость сбалансированного подхода к решению таких разноплановых задач структурной перестройки экономики, как тонкая настройка специфических для каждой отрасли механизмов ее развития и выстраивание всех сфер жизни по единому сквозному принципу технологического суверенитета.

Проблемно-ориентированное управление макроэкономическими организационными системами должно, по мнению автора, опираться на принцип приоритетности. Основной

приоритетной целью является достижение сквозного технологического суверенитета, объединяющего все сферы жизни в единую сбалансированную организационную систему. Одним из решающих путей достижения данной цели выступает структурная трансформация национальной экономики. Одновременно с этим структурные сдвиги в экономике являются результатом сквозной технологизации.

Основные векторы структурной перестройки экономики Российской Федерации: опережающее развитие отраслей инфраструктуры и высоких технологий, масштабирование производства новой конкурентоспособной продукции, развитие импортозамещающих производств, расширение несырьевого сектора экономики.

На XXV ПМЭФ-2022 обсуждался вопрос о структурной перестройке экономики. Набиуллина Э., глава Банка России, отметила актуальность развития производств продукции с высокой степенью переработки, а также важность учета быстро меняющейся ситуации на рынках. Силуанов А. подчеркнул значимость разумного баланса между частными и государственными вложениями в модернизацию и структурную перестройку экономики [2].

Вопросам теории и практики структурных преобразований экономики в России и зарубежных странах посвящена обширная научная литература. Структурные сдвиги – постоянная составляющая тенденций развития экономики на уровне стран и их территориальных подразделений, а также мирового хозяйства в целом. Эти сдвиги выступают и как результат достижения целевых параметров программ развития экономики, и как механизм управления развитием сложных макроэкономических систем. В частности, курс на цифровую трансформацию экономики сопряжен с позитивными структурными сдвигами в макроэкономике [3]. Наиболее распространенным подходом авторов таких исследований является описание основных трендов и механизмов структурных преобразований [4].

Реже представлен анализ теоретических аспектов структурных преобразований организационно-экономических систем. Особого внимания заслуживают результаты исследования, проведенного О.Г. Ватюковой. Основным критерием оценки структурных сдвигов является достигнутый уровень эффективности. Как отмечает О.Г. Ватюкова: «при положительной эффективности структурных сдвигов в экономической системе происходит симметричное влияние на все элементы» [5]. При отрицательной эффективности неизбежны нарушения хозяйственных связей. Следует учитывать, что действительная эффективность структурной трансформации системы может быть оценена только на конечном ее этапе. В целом же любой структурный сдвиг нарушает сложившиеся взаимосвязи элементов системы, что требует их перенастройки в текущем режиме на всех этапах структурной трансформации экономической системы. По мнению О.Г. Ватюковой, все элементы экономической системы можно разграничить на четыре типа: социально-экономические отношения, организационно-экономические отношения, хозяйственные механизмы, организационные формы хозяйственной деятельности.

При всей значимости выдвигаемых О.Г. Ватюковой теоретических положений, остается открытым вопрос методического порядка – о способах оценки эффективности гармонизации взаимодействий между элементами экономических систем. В этой связи полезно обращение к материалам статьи Е.С. Бородушко, в которой рассмотрен порядок оценки сбалансированности экономических систем в территориальном аспекте [6].

Широко представлены исследования проблем управления структурными изменениями организационно-экономических систем в зарубежных публикациях. Их отличительная особенность – обращение к анализу конкретных аспектов проблем и применительно к определенным категориям макроэкономических систем [7–10].

Особая ситуация сложилась в области проблемно-ориентированного управления структурной трансформацией организационно-экономических систем и их научного анализа в России в текущий момент. Вызванные гибридной войной западных стран против России риски для национальной экономики вынуждают институты власти к принятию экстренных



мер в области адаптации к новым условиям и обеспечения технологического суверенитета, что требует структурной перестройки организационно-экономических систем.

Управленческая деятельность развивается в данном направлении столь стремительно (и притом вполне успешно), что научная мысль не успевает за реальными процессами. Чтобы восполнить дефицит научных знаний в указанной области, автором был проведен анализ такого частного вопроса, как оценка степени готовности и накопленного опыта в части оптимизации структуры организационно-экономической системы России, которые могли бы облегчить решение задач структурной трансформации национальной экономики с должным эффектом и в кратчайшие сроки.

Для решения этой задачи на основе официальной информации Росстата за период 2010–2020 гг. были выявлены закономерные связи и тренды динамики с помощью графического метода и индексного анализа. Это позволяет дать более глубокую оценку ситуации и, соответственно, конкретизировать содержательную сторону проблемно-ориентированного подхода к управлению некоторыми видами организационно-экономических систем.

В наиболее общем виде структурные характеристики национальной экономики получают путем определения доли отдельных отраслей и видов деятельности в составе ВВП, в основных производственных фондах, в экспорте товаров, в занятом населении. Рассмотрение этих показателей в динамике позволяет оценить масштаб отраслевых сдвигов в национальной экономике. Соотношение результатов динамики структуры по разным показателям определяется особенностями структурных сдвигов в количественном и качественном аспектах.

В рамках данной статьи ограничимся анализом статистических данных только в разрезе характеристик занятости населения. В пределах принятого исследуемого периода численность занятого населения сократилась с 46 729 тыс. человек в 2010 г. до 43 326 тыс. человек в 2020 г. При таком количественном сжатии трудового потенциала страны ее экономический потенциал продолжал увеличиваться за счет роста производительности общественного труда. Например, за период 2015–2019 гг. численность занятых сократилась на 2,7 %, а производительность труда возросла на 8,1 %. Эта и вся последующая информация получена на основе данных статистического сборника Росстата «Труд и занятость в России», издания 2021 г. [11].

Прежде всего, были рассмотрены наиболее значимые данные о сдвигах в отраслевой структуре занятого населения за период 2010–2020 гг. Доля занятых в обрабатывающих производствах за 10 лет незначительно (в пределах масштаба вероятной статистической погрешности) сократилась с 16,3 % до 15,4 %. Доля машиностроения и приборостроения в составе обрабатывающих производств также незначительно сократилась – с 24,0 % до 22,8 %. Доля производства компьютеров, электронных и оптических изделий в структуре машиностроения увеличилась с 22,1 % до 26,2 %.

Характерно, что некоторое увеличение доли самой высокотехнологичной продукции произошло за счет сокращения занятости в машиностроении и приборостроении при стабильной занятости в наиболее высокотехнологичных производствах. Исходные данные по этим показателям представлены на рисунке, наглядно демонстрирующем основной тренд динамики – стабильность отраслевой структуры занятости населения. Некоторые аспекты данного вопроса рассмотрены Т.Л. Смирновой [12].



Рис. Среднегодовая численность работников по видам экономической деятельности в Российской Федерации, тыс. чел.

Более конкретную информацию о динамике структуры по видам экономической деятельности дают материалы индексного анализ. Автором была построена индексная система, включающая индекс переменного состава, индекс постоянного состава и индекс структурных сдвигов. В индексную модель были включены 10 видов деятельности (данные о зарплате за 2020 г., тыс. руб.):

– пять наиболее высокооплачиваемых – добыча нефти и природного газа (142,2), финансовая и страховая деятельность (112,7), производство табачных изделий (112,0), деятельность экстерриториальных органов и организаций (84,6), деятельность в области информации и связи (85,6);

– пять самых низкооплачиваемых видов деятельности – производство одежды (20,9), производство кожи и изделий из кожи (26,9), деятельность гостиниц и общественного питания (27,4), производство мебели (27,8), производство текстильных изделий (30,1).

Система индексов средней месячной номинальной заработной платы в относительной форме (данные за 2020 г. к данным 2010 г.):

$$I_{\text{пер сост}} = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum q_1} : \frac{\sum p_0 q_0}{\sum q_0} = \frac{76,79}{31,93} = 2,404;$$

$$I_{\text{пост сост}} = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum q_1} : \frac{\sum p_0 q_1}{\sum q_1} = \frac{76,79}{32,92} = 2,333;$$

$$I_{\text{стр сдвигов}} = \frac{\sum p_0 q_1}{\sum q_1} : \frac{\sum p_0 q_0}{\sum q_0} = \frac{32,92}{31,93} = 1,031;$$

$$2,404 = 2,333 \times 1,031.$$

Система индексов средней месячной номинальной заработной платы в разностной форме:

$$A_{\text{пер сост}} = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum q_1} - \frac{\sum p_0 q_0}{\sum q_0} = 76,79 - 31,93 = 44,85;$$

$$A_{\text{пост сост}} = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum q_1} - \frac{\sum p_0 q_1}{\sum q_1} = 76,79 - 32,92 = 43,87;$$

$$A_{\text{стр сдвигов}} = \frac{\Sigma p_0 q_1}{\Sigma q_1} - \frac{\Sigma p_0 q_0}{\Sigma q_0} = 32,92 - 31,93 = 0,98;$$

44,85 тыс. руб. = 43,87 тыс. руб. + 0,98 тыс. руб.

Более чем двукратный рост средней месячной заработной платы (в 2,404 раза) определялся исключительно ростом оплаты труда в пределах каждого вида деятельности (в 2,333 раза) и только на 3,1 % (на 985 руб.) произошел рост в связи с изменением доли занятых по видам деятельности. Следовательно, за 10 лет не произошли сколько-нибудь существенные структурные сдвиги по видам деятельности, которые повлияли бы на динамику оплаты труда.

### Заключение

Проведенный анализ вопросов проблемно-ориентированного управления трансформацией организационно-экономических систем России позволяет сделать следующие основные выводы:

– соотношение таких задач проблемно-ориентированного управления макроэкономическими системами, как сквозная технологизация и структурная перестройка экономики определяется приоритетной ролью развития новых отечественных технологий. Структурная перестройка организационно-экономических систем выступает как инструмент и как результат технологического прорыва;

– декларировавшийся ранее курс на совершенствование структуры экономики России через приоритетный рост перерабатывающих производств, а среди них – производства высокотехнологичной продукции – не получил реального воплощения, структурные сдвиги носили ограниченный характер. Поэтому в современных экстремальных условиях санкционного давления затруднительно, к сожалению, опереться на накопленный ранее опыт решения проблем управления процессом структурной трансформации экономики.

Крайне важны дальнейшие научные разработки теоретико-методологических основ деятельности в области эффективного управления процессом структурной трансформации национальной экономики России. Полученные в данном исследовании авторские выводы и положения могут быть полезны в текущей деятельности по управлению и адаптации организационно-экономических систем к новым экстремальным геополитическим условиям.

### Список источников

1. Выступление В.В. Путина на пленарном заседании юбилейного, XXV Петербургского международного экономического форума: стенограмма от 17 июня 2022 г. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/68669> (дата обращения: 13.07.2022).

2. Силуанов А. Как перестроить российскую экономику, не вернувшись в процессе в СССР // XXV Петербургский междунар. экон. форум. URL: <https://rg.ru/2022/06/16/peterburgskie-mosty.html?ysclid=151fjw0jxp594916652> (дата обращения: 13.07.2022).

3. Бородушки И.В. Тенденции цифровой трансформации в современной России // Путеводитель предпринимателя. 2021. № 1. С. 11–20.

4. Плотников В.В. Механизмы государственной контракции и их роль в стимулировании структурных преобразований региональной экономики // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: экономика, социология, менеджмент. 2018. № 4 (29). С. 81–89.

5. Ватюкова О.Ю. Взаимосвязь структурных сдвигов и развития экономической системы // Фундаментальные исследования. 2016. № 9-3. С. 555–559.

6. Бородушко Е.С. Оценка сбалансированности социально-экономического развития регионов России // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2011. № 3. С. 140–143.

7. Moroz N.Y., Antipova O.V. Strategies for Sustainable Development of Socio-Economic Systems // Special Issue: Innovation in the Economy and Society of the Digital Age. 2021. Vol. 39. № 5. URL: <https://ojs.ual.es/ojs/index.php/eea/article/view/5239> (дата обращения: 11.07.2022).

8. Matthes M., Kunkel S. Structural change and digitalization in developing countries: Conceptually linking the two transformations // Technology in Society, Elsevier. Vol. 63 (C). URL: <https://ideas.repec.org/a/eee/teinso/v63y2020ics0160791x20303973.html> (дата обращения: 11.07.2022).

9. Dyatlov S.A., Selishcheva T.A., Feigin G.F. The impact of network human capital on economic growth of supply chain in digital economy // International journal of supply chain management. 2018. № 7 (5). P. 877–885.

10. Mironov V.V., Konvalova L.D. Structural changes and economic growth in the world economy and Russia // Russian Journal of Economics. № 5 (1). P. 1–26. DOI: 10.32609/j.ruje.5.35233. URL: <https://rujec.org/article/35233/> (дата обращения: 15.07.2022).

11. Труд и занятость в России: стат. сборник. М.: Росстат, 2021. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13210> (дата обращения: 10.07.2022).

12. Смирнова Т.Л. Влияние структурных сдвигов на динамику производительности труда и заработной платы в России // Экономика труда. 2020. Т. 7. № 10. С. 913–932.

### References

1. Vystuplenie V.V. Putina na plenarnom zasedanii yubilejnogo, HXV Peterburgskogo mezhdunarodnogo ekonomicheskogo foruma: stenogramma ot 17 iyunya 2022 g. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/68669> (дата обращения: 13.07.2022).

2. Siluanov A. Kak perestroit' rossijskuyu ekonomiku, ne vernuvshis' v processe v SSSR // HXV Peterburgskij mezhdunar. ekon. forum. URL: <https://rg.ru/2022/06/16/peterburgskie-mosty.html?ysclid=l5lfjw0jxp594916652> (дата обращения: 13.07.2022).

3. Borodushki I.V. Tendencii cifrovoj transformacii v sovremennoj Rossii // Putevoditel' predprinimatel'ya. 2021. № 1. S. 11–20.

4. Plotnikov V.V. Mekhanizmy gosudarstvennoj kontraktacii i ih rol' v stimulirovanii strukturnyh preobrazovanij regional'noj ekonomiki // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: ekonomika, sociologiya, menedzhment. 2018. № 4 (29). S. 81–89.

5. Vatyukova O.Yu. Vzaimosvyaz' strukturnyh sdvigoj i razvitiya ekonomicheskoy sistemy // Fundamental'nye issledovaniya. 2016. № 9-3. S. 555–559.

6. Borodushko E.S. Ocenka sbalansirovannosti social'no-ekonomicheskogo razvitiya regionov Rossii // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta MVD Rossii. 2011. № 3. S. 140–143.

7. Moroz N.Y., Antipova O.V. Strategies for Sustainable Development of Socio-Economic Systems // Special Issue: Innovation in the Economy and Society of the Digital Age. 2021. № 5. Vol. 39. URL: <https://ojs.ual.es/ojs/index.php/eea/article/view/5239> (дата обращения: 11.07.2022).

8. Matthes M., Kunkel S. Structural change and digitalization in developing countries: Conceptually linking the two transformations // Technology in Society, Elsevier. Vol. 63(C). URL: <https://ideas.repec.org/a/eee/teinso/v63y2020ics0160791x20303973.html> (дата обращения: 11.07.2022).

9. Dyatlov S.A., Selishcheva T.A., Feigin G.F. The impact of network human capital on economic growth of supply chain in digital economy // International journal of supply chain management. 2018. № 7 (5). P. 877–885.

10. Mironov V.V., Konvalova L.D. Structural changes and economic growth in the world economy and Russia // Russian Journal of Economics. № 5 (1). P. 1–26. DOI: 10.32609/j.ruje.5.35233. URL: <https://rujec.org/article/35233/> (дата обращения: 15.07.2022).

11. Trud i zanyatost' v Rossii: stat. sbornik. М.: Росстат, 2021. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13210> (дата обращения: 10.07.2022).

12. Smirnova T.L. Vliyanie strukturnyh sdvigoj na dinamiku proizvoditel'nosti truda i zarabotnoj platy v Rossii // Ekonomika truda. 2020. Т. 7. № 10. С. 913–932.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 08.07.2022; одобрена после рецензирования: 08.08.2022;  
принята к публикации: 10.08.2022

**Information about the article:**

The article was submitted to the editorial office: 08.07.2022; approved after review: 08.08.2022;  
accepted for publication: 10.08.2022

*Информация об авторах:*

**Ирина Васильевна Бородушко**, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор экономических наук, доцент, e-mail: bi08@me.com

**Александр Алексеевич Таранцев**, профессор кафедры пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, e-mail: t\_\_54@mail.ru

*Information about authors:*

**Irina V. Borodushko**, professor of the department of applied mathematics and information technology, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), doctor of economics, associate professor, e-mail: bi08@me.com

**Alexander A. Tarantsev**, professor of the department of fire fighting and rescue operations, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), doctor of technical sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, e-mail: t\_\_54@mail.ru

---

---

# ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДГОТОВКИ СОТРУДНИКОВ МЧС РОССИИ К УСЛОВИЯМ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

---

---

УДК 378.147

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РАЗВИТИЮ ОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Роман Евгеньевич Булат.**

Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина, Санкт-Петербург,  
Россия.

**Андрей Юрьевич Лебедев**✉.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉[lebedev@igps.ru](mailto:lebedev@igps.ru)

*Аннотация.* Приведены результаты анализа очной формы обучения с применением дистанционных образовательных технологий как целостной, сложной, открытой, динамичной, целенаправленной, адаптивной и устойчивой системы, в которой чётко выделяются структурные уровни, присутствуют связи интегративного и неинтегративного характера, действуют механизмы управления. Ими на основе опыта экстренного перевода очной формы обучения с применением дистанционных образовательных технологий весной 2019 г. выявлена особая роль подсистемы управления в задании импульса к самоорганизации личностных структур сознания педагогов и обучающихся как к источнику и механизму самоорганизуемого творчества обучения и учения, воспитания и самовоспитания.

В рамках системного синтеза предлагается сформировать механизм дальнейшего развития качества образования на основе разработки системы психолого-педагогического обеспечения очной формы обучения с применением дистанционных образовательных технологий. Принципиальным отличием модели системы психолого-педагогического обеспечения очной формы обучения с применением дистанционных образовательных технологий является перенос акцента развития цифровой дидактики (подсистемы системы образования) с цифровизации взаимоотношений участников образовательного процесса (подсистемы дистанционных образовательных технологий) на формирование их готовности к очной форме обучения с применением дистанционных образовательных технологий.

*Ключевые слова:* очная форма обучения, дистанционные образовательные технологии, системный подход, психолого-педагогическое обеспечение

**Для цитирования:** Булат Р.Е., Лебедев А.Ю. Системный подход к развитию очной формы обучения с применением дистанционных образовательных технологий // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 147–158.

## SYSTEM APPROACH TO DEVELOPMENT A VERY FORM OF LEARNING WITH APPLICATION REMOTE EDUCATIONAL TECHNOLOGIES

**Roman E. Bulat.**

**Leningrad state university A.S. Pushkin, Saint-Petersburg, Russia.**

**Andrey Yu. Lebedev**✉.

**Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia**

✉[lebedev@igps.ru](mailto:lebedev@igps.ru)

*Abstract.* The authors of the article provide the results of the analysis of full-time education using distance educational technologies as an integral, complex, open, dynamic, purposeful, adaptive and sustainable system, in which structural levels are clearly distinguished, there are integrative and non-literal connections, and control mechanisms operate. Based on the experience of urgent translation of full-time education using distance educational technologies in the spring of 2019, they identified a special role of the control subsystem in setting an impulse for self-organization of personal structures of consciousness of teachers and students as a source and mechanism of self-organized creativity of teaching and learning, education and self-education.

Within the framework of a systemic synthesis, it is proposed to form a mechanism for the further development of the quality of education based on the development of a system of psychological and pedagogical support of full-time education using distance educational technologies. The fundamental difference between the model of the system of psychological and pedagogical support of full-time education with the use of distance educational technologies is the shift in the emphasis of the development of digital didactics (a subsystem of the education system) from the digitalization of relationships between participants in the educational process (subsystem of distance educational technologies) to the formation of their readiness for full-time education using distance educational technologies.

*Keywords:* full-time education, distance educational technologies, systematic approach, psychological and pedagogical support

**For citation:** Bulat R.E., Lebedev A.Yu. System approach to development a very form of learning with application remote educational technologies // Nauch.-analit. journ. «Vestnik S.-Peterb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 147–158.

### Введение

Выбор методологического основания, как и для любого научного исследования, является начальным и важнейшим этапом совершенствования очной формы обучения с применением дистанционных образовательных технологий. Теоретико-методологическим фундаментом изучения объектов сложноорганизованной структуры научными деятелями признан системный подход как определённая методологическая ориентация проведения исследования, как совокупность понятий и принципов, регламентирующих его общую стратегию [1–3].

Принятие системного подхода в качестве методологической основы данного исследования очной формы обучения (ОФО) с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ) в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России (университет) как объекта сложноорганизованной структуры (системы) – обусловило решение следующих задач:

– исследование понятия «очная форма обучения с применением дистанционных образовательных технологий» как системы и как процесса в рамках основных положений системного подхода;

– выявление системных свойств системы ОФО с применением ДОТ.

Целью исследования является научное обоснование развития ОФО с применением ДОТ с позиции системного подхода.

Задачи исследования: охарактеризовать основные проблемы при организации образовательной деятельности университета в рамках ОФО с применением ДОТ в условиях высокой неопределённости развития эпидемиологической ситуации; разработать модель в рамках системного подхода при организации образовательной деятельности университета в рамках ОФО с применением ДОТ.

### **Материал и методы исследования**

Исследуемая форма обучения с применением ДОТ многокомпонентна, имеющая объективно заданную цель и функционирующая в условиях существенной неопределённости и воздействия среды на неё. ОФО с применением ДОТ в университете обладает системностью – свойством, подразумевающим наличие недетерминированных уникальных особенностей системы, обусловленных самопроизвольной перестройкой её структуры в результате динамики внешнего окружения. Следовательно, ОФО с применением ДОТ в университете является целостной и неразрывной совокупностью всех своих элементов, для которой важнейшее значение имеют такие основные свойства системности, как: целостность, функциональность, структурность, иерархичность, устойчивость при взаимодействии с внешним окружением, обусловленные «принципами материалистической диалектики» [2].

Система ОФО с применением ДОТ в университете обладает специфическими свойствами и качествами, среди которых следует отметить целостность и обособленность, выделяющими систему из внешнего окружения. При этом для целостности в определении системы как совокупности взаимозависимых элементов, образующих единое целое, которое выполняет определённую функцию, существенно то, что элементы должны быть взаимозависимыми и (или) взаимодействующими [4]. Причём определённые структурные элементы могут быть объединены в «целое», однако это «целое» не является системой до выявления связей между элементами, определения её системообразующего фактора. Поэтому среди связей между составляющими систему элементами, связи управления занимают особое место, поддерживая системообразование в соответствии с системообразующим фактором. При этом связи управления включают руководителей всех уровней и порядок их взаимодействия и их функции, которыми они воздействуют на организацию образовательной деятельности высшей образовательной организации.

Следует отметить, что элементы с системообразующими связями формируют структуру, отражающую устойчивую упорядоченность ОФО с применением ДОТ в университете. Поэтому с принципом целостности тесно связан принцип структурности. В соответствии с ним система ОФО с применением ДОТ в университете является «подсистемой организации, компонентами которой являются группы взаимодействующих участников образовательных отношений, а её функции заключаются в восприятии проблем и последующем выполнении действий, способствующих достижению цели – требуемого результата» [4]. Следовательно, исходя из того, что термин «системный подход» определяет исследование объекта путём анализа его компонентов как элементов с системообразующими связями системы и влияния их друг на друга, предметом управления становятся структурные элементы системы ОФО с применением ДОТ, воздействие на которые должно обеспечить достижение результата, соответствующего поставленной цели.

При исследовании университетской системы ОФО с применением ДОТ и её развития через характеристику взаимосвязей элементов и их функций выявляется её структура, что напрямую определяет специфику функционирования данной системы (деятельности системы в целом) (рис. 1). Была выявлена полиструктурность системы ОФО с применением ДОТ в университете: каждая группа связей порождает производную структуру [2]. Феномен полиструктурности обнаруживается тем, что каждый из структурных элементов университетской системы принадлежит нескольким структурным компонентам более



высокого уровня (подсистемам) ОФО с применением ДОТ [2].

Вместе с тем любая система может рассматриваться как подсистема некоторой более крупной системы, при этом она может (в зависимости от своей структуры) включать подсистемы, которые, в свою очередь, следует рассматривать как отдельные системы. Следовательно, при исследовании объекта (ОФО с применением ДОТ) наличие взаимосвязей между подсистемами одной системы и между различными системами, рассматриваемыми как подсистемы системы более высокого порядка, указывает на их исключительно внутрисистемный (экзогенный) характер. При этом важно и то, что взаимозависимость и (или) взаимодействие элементов более низкого уровня основано на подчинительном характере связи с элементами более высокого уровня. В связи с этим принцип иерархичности означает, что каждый компонент системы ОФО с применением ДОТ в университете, в свою очередь, может рассматриваться как иная система, а исследуемая система представляет собой один из структурных компонентов системы более высокого порядка [2, 4]. Поэтому при анализе системы ОФО с применением ДОТ в университете принцип иерархичности реализуется посредством деления исследуемой системы на подсистему системы ОФО и как подсистему системы ДОТ.

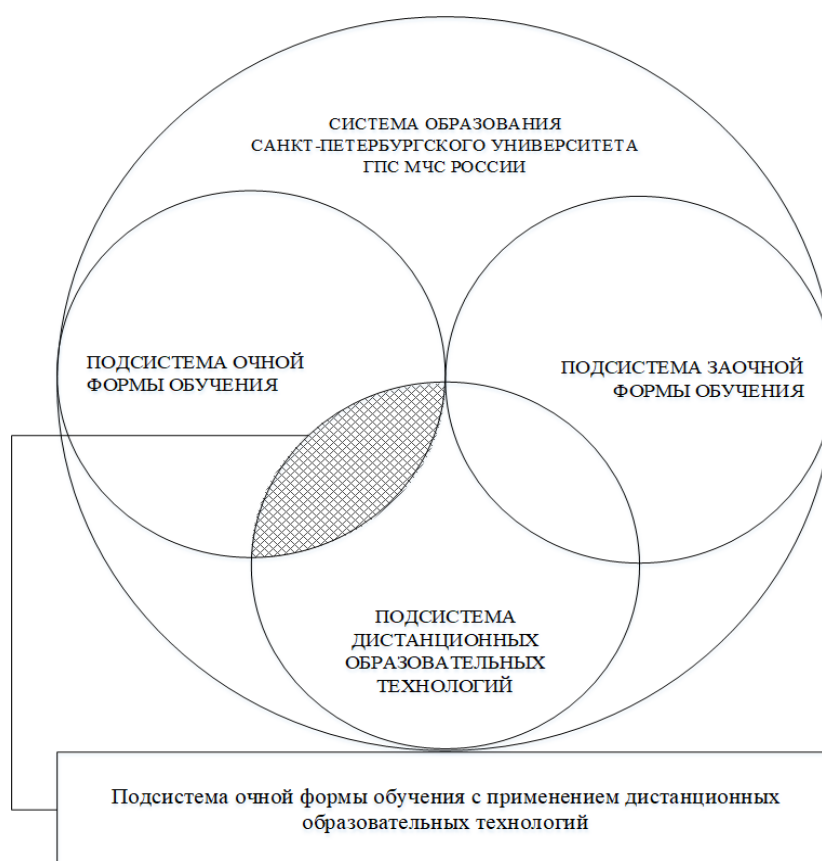


Рис. 1. Схема системы ОФО с применением ДОТ в университете

В рамках принципа взаимодействия системы ОФО с применением ДОТ в университете с внешним окружением выявляются проблема определения границ самой системы и проблема определения связей с внешним окружением. Причём связи и отношения с различного рода системными и несистемными образованиями окружающую систему среду имеют для исследуемой системы существенно-необходимое значение – без этих связей и отношений не представляется возможным функционирование и развитие системы ОФО с применением ДОТ в университете. При этом следует подчеркнуть, что изменение свойств объекта меняет его характеристики, что приводит к изменению самого объекта, а система

ОФО с применением ДОТ в университете имеет те же границы, что и система высшего уровня – система ОФО.

Для университетской системы ОФО с применением ДОТ внешним окружением (средой) будут являться другие подсистемы образовательной системы университета. В то же время внешним окружением университетской образовательной системы является комплекс социально-экономических и иных условий, норм и требований в области образования, политики в области управления персоналом, а также многое другое: образование как срез временной перспективы развития всего общества. При этом важнейшим аспектом взаимодействия является связь с подсистемой управления системой профессиональной подготовки университета. Подсистема управления системой профессиональной подготовки университета воздействует на ОФО с применением ДОТ как через подсистему управления ОФО, так и через подсистему управления ДОТ [5, 6].

При этом учитывается, что управленческая подсистема университетской системы профессиональной подготовки является «участком системы в относительно неорганизованном» окружении. По мнению таких известных деятелей науки в области системных исследований, как И.В. Блауберг, Е.М. Мирский и В.Н. Садовский: «...окружение вновь создаваемых управленческих систем становится все более организованным (в том числе и системно организованным), и создание новых систем приводит к хаосу второго порядка» [2, 7]. Поэтому в проблеме взаимосвязей системы с внешним окружением значение имеет процесс самоорганизации системы, являющийся источником преобразования, функционирования и развития системы. При этом разная степень участия различных подсистем (предметных, технических, программных, методических и др.) в деятельности системы профессиональной подготовки университета приводит к нарастанию противоречий во взаимодействии структурных элементов системы различного уровня, детерминирующих кризис. Поэтому «сравнительно малоорганизованное окружение» имеет непосредственное влияние на результат деятельности системы в целом [8].

Вместе с тем применение системного подхода при рассмотрении системы ОФО с применением ДОТ в университете обуславливает соотношение исследуемого объекта с различными существующими классификациями систем [2]. Анализ системы ОФО с применением ДОТ в университет позволил сделать вывод, что это целостная, сложная, динамичная, целенаправленная, адаптивная, открытая, стремящаяся к постоянному, устойчивому состоянию система. В университетской системе ОФО с применением ДОТ чётко выделяются уровни структурных элементов, связи различного характера, а также механизмы управления [9].

Опыт экстренного тотального перевода в университете ОФО на ДОТ весной 2019 г. доказал особую роль подсистемы управления в задании импульса к самоорганизации личностных структур сознания педагогов и обучающихся как к источнику и механизму системно самоорганизуемого творчества обучения и учения, воспитания и самовоспитания [2]. При этом процесс перехода в иное качество личностного развития каждого участника образовательного процесса в указанных условиях был сопряжён с переживаниями осознания ситуации и определения своего места в ней [2].

Анализ университетского опыта тотального перевода ОФО на ДОТ в экстренных условиях показал, что сложившаяся ситуация неизбежно приводила к возникновению одной из двух личностных позиций:

– первая – социальное приспособленчество (полное подчинение условиям окружения с неизбежной ассимиляцией и последующей деградацией личности) или активная творческая деятельность по преобразованию данной ситуации (неадаптивная активность как основа саморазвития и самореализации личности);

– вторая – состояние системно самоорганизуемого творчества обучения и учения [2].

Следует отметить, что вторая позиция стала основой как для решения оперативных задач по недопущению остановки образовательного процесса, так и для повсеместной активизации развития цифровой дидактики. Поэтому, взяв за основу методологию

системного подхода, авторы направили свои исследования к постановке и решению проблем, связанных с выявлением закономерностей функционирования университетской системы ОФО с применением ДОТ, которые способствуют её дальнейшему развитию как объекта управления. Таким образом, исследованы существующие в представленной университетской системе процессы управления как формы и способы организации взаимодействия данной системы с её подсистемами и системами более высокого порядка.

Вместе с тем в рамках данного исследования системный подход применяется как теоретическая и методологическая рефлексия анализа существующих структурных элементов системы ОФО с применением ДОТ в университете и синтеза в плоскости структурно-функциональной иерархии – конструирование из имеющихся и интеграция недостающих подсистем и структурных элементов [2]. Достижения целостного направлены на выполнение заданной цели системы ОФО с применением ДОТ в университете. Поэтому позиция авторов состоит в том, что недостающей подсистемой исследуемой системы является подсистема психолого-педагогического обеспечения системы ОФО с применением ДОТ. Данная подсистема является «наложенной» на другие подсистемы и включает элементы из всех других подсистем системы ОФО с применением ДОТ.

По мнению авторов, подсистема психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ по своим определённым целям, задачам и способам организации деятельности способна выступить в качестве ключевого фактора достижения требуемого результата на основе имеющихся ресурсов в соответствии с целью данного исследования – повышения качества университетской системы профессиональной подготовки обучающихся ОФО с применением ДОТ. «Работая» на главную цель (повышение качества профессиональной подготовки), психолого-педагогическое обеспечение ОФО с применением ДОТ выполняет свои специфические функции для достижения заданной цели. При этом целью самой системы психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ является формирование готовности участников образовательного процесса к ОФО с применением ДОТ, которую также рассматриваем как систему.

Следует отметить и то, что заданная цель является средством достижения общей цели системы образования. Готовность участников образовательного процесса к ОФО с применением ДОТ как специфическая цель системы психолого-педагогического обеспечения унифицирована с целью ОФО с применением ДОТ – повышение качества профессиональной подготовки обучающихся. При этом цель системы психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ определяется нами как её системообразующий фактор при условии диагностичной формулировки заданной цели, то есть такой, «которая допускала бы их однозначную диагностику и вполне определённые возможности для принятия оптимальных решений» [2, 4]. Причём диагностичное определение цели представляется возможным при условии, если исходные понятия точно определены; явления, обозначаемые понятиями, поддаются измерению; результаты измерения поддаются соотнесению со шкалой и т.д.

Кроме того, в ходе исследования системы психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ установили, что её сущность как педагогической системы заключается не в соотношении содержания, формы и способов организации деятельности участников образовательной системы (что характерно для любой социальной системы), а в соотношении данной деятельности в целом с педагогическим результатом – развитием личности всех участников образовательного процесса [2, 5]. Так, исходя из положений деятельностного подхода (А.Н. Леонтьев), образование не может осуществляться вне деятельности: суть образования заключается в вовлечении обучающегося в определённую деятельность на соответствующих мотивах, в ходе которой и происходит изменение личности. Поэтому система психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ как педагогическая система отличается от иных социальных систем спецификой в том, что её функционирование происходит на основе внутренних психических процессов обучающихся и педагогов, каждый из которых анализирует и формирует многообразные

информационные потоки, исходя из своей индивидуальной, содержательной деятельности при решении тех или иных общих задач обучения [2, 4, 5].

При этом важно учесть тот факт, что если в штатной деятельности развитие личности субъекта выступает как побочный, сопутствующий продукт (результат), всецело подчинённый непосредственной цели деятельности, то в образовательной деятельности результат лежит в плоскости разрешения противоречия между целью-в-объекте и целью-в-субъекте, или в иной формулировке – между целями педагогической деятельности и целями самих обучающихся. Следует отметить, что данное противоречие не встречается нигде, кроме как в образовательной деятельности. Поэтому оно является основным педагогическим противоречием, отражающим сущность психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ как системы [2, 5].

В результате установили, что психолого-педагогическое обеспечение ОФО с применением ДОТ в университете обладает эмерджентностью – особым интегративным свойством, которого нет у её подсистем. Системе психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ в университете присущи свойства, принципиально не сводимых к сумме свойств её составляющих.

Рассмотрение системы психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ в университете как системно сложноорганизованного объекта авторы представляют в виде методологической инерции системного подхода. Следовательно, подобное позволяет нам не только опираться на диалектику и системно подходить к выделению объекта познания, но и к методологической сатисфакции конструирования прогностической модели в имеющихся условиях. Цель разрабатываемой модели – формирование готовности участников образовательного процесса к ОФО с применением ДОТ в университете [10–12].

В результате переосмысления приведённых положений можно представить модель системы психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ в университете в виде схемы (рис. 2).

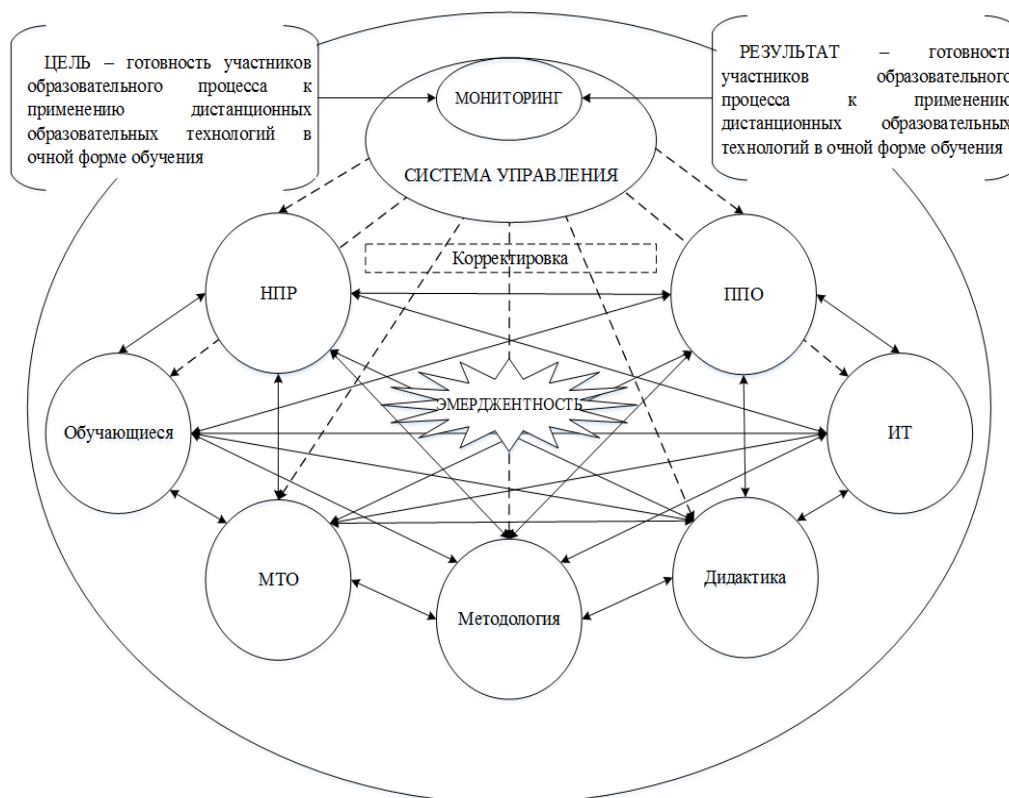


Рис. 2. Модель системы психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ (НПР – научно-педагогические работники; ППО – прикладное программное обеспечение; МТО – материально-техническое обеспечение; ИТ – информационные технологии)

Следует отметить, что компоненты системы психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ в университете выполняют свои специфические функции и действия для достижения заданных целей. При этом согласование целей компонентов с общесистемными целями и её компонентных функций с общесистемными функциями предполагает совместимость противоречивых, разнокачественных и разноуровневых компонентов социальной системы.

Компоненты социальной системы интегрируются системой психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ, причём система активно воздействует на них, что приводит к их преобразованию. В результате подобного взаимодействия компонентов социальной системы и системы психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ в университете образуется иное свойство, которое, подчиняя, преобразовывает анализируемые компоненты (принцип иерархичности).

Поэтому разнокачественность и противоречивость компонентов системы психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ в университете не только важный фактор целостности, но и фактор движения в интегративной совокупности всех её аспектов и элементов: развития целостной стремящемуся к постоянному и устойчивому состоянию объект. Следовательно, решения относительно системы психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ и её компонентов и возможно, и необходимо принимать. Однако приниматься решения должны для достижения общесистемных целей: цель – системообразующий фактор.

Моделирование системы психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ в университете с точки зрения системного подхода даст возможность обеспечить её целостность: упрочнением связей уже существующих компонентов; развитием взаимодействия ранее не взаимодействующих компонентов; образованием новых компонентов и их связей или перегруппировкой имеющихся и т.д. В результате система психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ в университете приобретёт не присущие исходным объектам взаимодействия новые интегративные свойства, которые необходимы для достижения цели системы – повышения качества профессиональной подготовки.

Вместе с тем изменения норм поведения в области общественного здравоохранения, задача учёта всех категорий обучающихся, в том числе и страдающих от отсутствия ресурсов или благоприятной среды для доступа к обучению, и внедрение цифровых решений требуют соответствующего информационного содержания, подходящих методических моделей, эффективных методов преподавания и организации адекватной благоприятной учебной среды [13].

Важно отметить, что качественное образование невозможно обеспечивать на основе информационного содержания, разработанного за пределами педагогического пространства и сферы человеческих отношений между обучающими и обучающимися.

В целом внедрение модели психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ в университете позволит:

- повысить адаптивность к корректировке целей и планируемых (ожидаемых) результатов, обуславливаемой динамикой внешнего окружения;
- создать предпосылки для перехода к сотрудничеству и сотворчеству во взаимоотношениях между участниками образовательных отношений;
- обеспечить устойчивость (как гарант долгосрочной жизнеспособности), целостность, обособленность, динамичность, гибкость, открытость системы ОФО с применением ДОТ в университете;
- обеспечить объективность оценки качества системы ОФО с применением ДОТ в университете, выявить перспективы для развития [2, 4].

Дальнейшая реализация концепции и модели психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ в университете подразумевает разработку не только структурно-

штатных, но и организационно-методических и психолого-педагогических конверсий в существующей университетской системе ОФО с применением ДОТ.

### Выводы

Таким образом, исследование методологических основ совершенствования ОФО с применением ДОТ в университете показало:

1. Система ОФО с применением ДОТ в университете – это целостная, сложная, открытая, динамичная, целенаправленная, адаптивная, устойчивая система, в которой чётко выделяются структурные уровни, присутствуют связи различного характера и качества, действуют механизмы управления. Причём в ситуации наличия уверенного руководства в условиях высокой неопределённости развития эпидемиологической ситуации обеспечиваются гуманистические инициативы всех заинтересованных сторон, а также их рациональная реализация; принимаемые руководством университета решения в вопросах реагирования на вызванные COVID-19 ограничения соответствуют национальным приоритетам в вопросах обеспечения качества образования.

2. Опыт экстренного тотального перевода ОФО на ОФО с применением ДОТ весной 2019 г. доказал особую роль подсистемы управления в задании импульса к самоорганизации личностных структур сознания педагогов и обучающихся как к источнику и механизму самоорганизуемого творчества обучения и учения, воспитания и самовоспитания.

3. Сформировать механизм дальнейшего совершенствования университетской системы ОФО с применением ДОТ позволит её психолого-педагогическое обеспечение, нацеленное на формирование готовности участников образовательного процесса к ОФО с применением ДОТ: деятельность каждого структурного элемента системы воздействует на деятельность целого, при этом деятельность структурных элементов и их воздействия на целое взаимозависимы; образование не может зависеть только от цифровых платформ.

4. Модель системы психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ позволит упрочить связи с позиции рефлексии: анализ имеющихся компонентов, развитие взаимодействия между прежде не взаимодействовавшими компонентами, образование новых компонентов и их связи (или реорганизация существующих) позволит обрести не присущие исходным компонентам объекта требуемые свойства (иные интегративные (взаимодополняющие) свойства системы ОФО с применением ДОТ), необходимые для достижения цели системы более высокого порядка – системы профессиональной подготовки.

5. Принципиальным отличием модели системы психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ является перенос акцента развития цифровой дидактики (подсистемы системы образования) с цифровизации взаимоотношений участников образовательного процесса (подсистемы ДОТ) на формирование их готовности к ОФО с применением ДОТ, что позволит ориентировать все компоненты системы ОФО с применением ДОТ на саморазвитие и самосовершенствование участников образовательного процесса.

6. Реализация концепции и модели системы психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ позволит:

– актуализировать существующие инфраструктурные возможности, цифровые ресурсы и инструменты, методические решения для осуществления ОФО и итогового контроля с применением ДОТ;

– активизировать решение психологических проблем участников образовательного процесса при применении ДОТ в ОФО;

– развить навыки самоорганизации и самообразования у обучающихся, разработать и внедрить новые формы самостоятельной деятельности, методов её педагогической поддержки и сопровождения, организовать обучение первокурсников основам построения

индивидуальных траекторий образования, цифровым инструментам образовательной деятельности;

– обеспечить саморазвитие педагогов в области изучения цифровой дидактики и возможностей ПО при проведении вебинаров, проектирования занятий и др.;

– обеспечить признание результатов обучения на основе подтверждения, сертификации и аккредитации знаний и навыков, приобретённых в результате и ОФО, и ОФО с применением ДОТ;

– выполнять свою миссию, осознавая необходимость соответствовать новым задачам развития общества, добиваться большей результативности деятельности всех участников образовательных отношений и более рациональному использованию ресурсов, быть в большей степени подготовленными к удовлетворению потребностей соответствующих групп населения и общества в целом [13].

7. В результате системного воздействия на все элементы качества профессиональной подготовки в системе ОФО с применением ДОТ будет обеспечено адекватное регулирование различных связей между системными и несистемными образованиями системной среды: предметными, техническими, программными, методическими и другими компонентами электронной информационно-образовательной среды университета, направленное на создание необходимых условий превращения образовательной деятельности в процесс развития личности обучающихся и педагогов – перспективы развития всего общества.

8. Построение и интеграция жизнеспособной системы психолого-педагогического обеспечения ОФО с применением ДОТ обеспечит справедливое и устойчивое развитие как отдельного человека, так и всего общества.

#### **Список источников**

1. Афанасьев В.Г. Общество: системность, познание и управление. М.: Политиздат, 1981. С. 21–27.
2. Булат Р.Е. Управление качеством профессиональной подготовки в военно-технических вузах: дис. ... д-ра пед. наук. СПб., 2010. 354 с.
3. Методы системного педагогического исследования: учеб. пособие / под ред. Н.В. Кузьминой. Л.: ЛГУ, 1980. 172 с.
4. Булат Р.Е. Качество высшего образования в вузе как педагогическая система // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Гуманитарные и общественные науки. 2015. № 4 (232). С. 137–143. DOI: 10.5862/JHSS.232.16.
5. How Higher Education Can Overcome Barriers to Digital Transformation. URL: <https://er.educause.edu/articles/sponsored/2021/10/how-higher-education-can-overcome-barriers-to-digital-transformation> (дата обращения: 28.10.2021).
6. How Technology Is Unlocking Next-Era Teaching and Learning. URL: <https://er.educause.edu/articles/sponsored/2021/10/how-technology-is-unlocking-next-era-teaching-and-learning> (дата обращения: 28.10.2021).
7. Блауберг И.В., Мирский Э.М., Садовский В.Н. Системный подход и системный анализ // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник. 1982. С. 47–65.
8. Interoperability: How to Turn a Blind Spot into a Strength. URL: <https://er.educause.edu/articles/sponsored/2021/10/interoperability-how-to-turn-a-blind-spot-into-a-strength> (дата обращения: 28.10.2021).
9. The Pitfalls of Analytics. URL: <https://er.educause.edu/podcasts/educause-exchange/the-pitfalls-of-analytics> (дата обращения: 28.10.2021).
10. Особенности уровня готовности к применению дистанционных образовательных технологий в очной форме обучения у различных категорий педагогических работников / Р.Е. Булат [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2021. № 2. С. 24. DOI: 10.17513/spno.30596.
11. Психолого-педагогические аспекты экстренного перехода обучающихся очной

формы обучения на дистанционный формат подготовки и проведения государственных аттестационных испытаний / Р.Е. Булат [и др.] // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 10. С. 140–147. DOI: 10.17513/snt.38269.

12. Психолого-педагогические ресурсы повышения готовности обучающихся к образовательному процессу в условиях электронной информационно-образовательной среды / Р.Е. Булат [и др.] // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 3. С. 172–178.

13. Концептуальная записка: Образование в эпоху COVID-19 и в последующий период // Организация Объединенных Наций, август 2020 г. URL: [https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/policy\\_brief\\_-\\_education\\_during\\_covid-19\\_and\\_beyond\\_russian.pdf](https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/policy_brief_-_education_during_covid-19_and_beyond_russian.pdf) (дата обращения: 28.10.2021).

## References

1. Afanas'ev V.G. Obshchestvo: sistemnost', poznanie i upravlenie. M.: Politizdat, 1981. S. 21–27.

2. Bulat R.E. Upravlenie kachestvom professional'noj podgotovki v voenno-tekhnicheskikh vuzah: dis. ... d-ra ped. nauk. SPb., 2010. 354 s.

3. Metody sistemnogo pedagogicheskogo issledovaniya: ucheb. posobie / pod red. N.V. Kuz'minoy. L.: LGU, 1980. 172 s.

4. Bulat R.E. Kachestvo vysshego obrazovaniya v vuze kak pedagogicheskaya sistema // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Gumanitarnye i obshchestvennye nauki. 2015. № 4 (232). S. 137–143. DOI: 10.5862/JHSS.232.16.

5. How Higher Education Can Overcome Barriers to Digital Transformation. URL: <https://er.educause.edu/articles/sponsored/2021/10/how-higher-education-can-overcome-barriers-to-digital-transformation> (data obrashcheniya: 28.10.2021).

6. How Technology Is Unlocking Next-Era Teaching and Learning. URL: <https://er.educause.edu/articles/sponsored/2021/10/how-technology-is-unlocking-next-era-teaching-and-learning> (data obrashcheniya: 28.10.2021).

7. Blauberg I.V., Mirskij E.M., Sadovskij V.N. Sistemnyj podhod i sistemnyj analiz // Sistemnye issledovaniya. Metodologicheskie problemy. Ezhegodnik. 1982. S. 47–65.

8. Interoperability: How to Turn a Blind Spot into a Strength. URL: <https://er.educause.edu/articles/sponsored/2021/10/interoperability-how-to-turn-a-blind-spot-into-a-strength> (data obrashcheniya: 28.10.2021).

9. The Pitfalls of Analytics. URL: <https://er.educause.edu/podcasts/educause-exchange/the-pitfalls-of-analytics> (data obrashcheniya: 28.10.2021).

10. Osobennosti urovnya gotovnosti k primeneniyu distancionnyh obrazovatel'nyh tekhnologij v ochnoj forme obucheniya u razlichnyh kategorij pedagogicheskikh rabotnikov / R.E. Bulat [i dr.] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2021. № 2. S. 24. DOI: 10.17513/spno.30596.

11. Psihologo-pedagogicheskie aspekty ekstrennogo perekhoda obuchayushchihsya ochnoj formy obucheniya na distancionnyj format podgotovki i provedeniya gosudarstvennyh attestacionnyh ispytaniy / R.E. Bulat [i dr.] // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2020. № 10. S. 140–147. DOI: 10.17513/snt.38269.

12. Psihologo-pedagogicheskie resursy povysheniya gotovnosti obuchayushchihsya k obrazovatel'nomu processu v usloviyah elektronnoj informacionno-obrazovatel'noj sredy / R.E. Bulat [i dr.] // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 3. S. 172–178.

13. Konceptual'naya zapiska: Obrazovanie v epohu COVID-19 i v posleduyushchij period // Organizaciya Ob"edinennyh Nacij, avgust 2020 g. URL: [https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/policy\\_brief\\_-\\_education\\_during\\_covid-19\\_and\\_beyond\\_russian.pdf](https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/policy_brief_-_education_during_covid-19_and_beyond_russian.pdf) (data obrashcheniya: 28.10.2021).



**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 05.03.2022; одобрена после рецензирования: 28.04.2022;  
принята к публикации: 29.04.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 05.03.2022; approved after review: 28.04.2022;  
accepted for publication: 29.04.2022

*Информация об авторах:*

**Роман Евгеньевич Булат**, профессор кафедры педагогики и педагогических технологий Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина (196605, г. Пушкин, Петербургское шоссе, д. 10), доцент, доктор педагогических наук, e-mail: bulatrem@mail.ru

**Андрей Юрьевич Лебедев**, заместитель начальника института заочного и дистанционного обучения – начальник организационно-методического отдела Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: lebedev@igps.ru

*Information about authors:*

**Roman E. Bulat**, professor of the department of pedagogy and pedagogical technologies Leningrad state university named after A.S. Pushkin (196605, Pushkin, Petersburg highway, d. 10), associate professor, doctor of pedagogical sciences, e-mail: bulatrem@mail.ru

**Andrey Yu. Lebedev**, deputy head of the institute of correspondence and distance education – head of the organizational and methodological department Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: lebedev@igps.ru

УДК 616.8

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ АГРЕССИЕЙ И ИНДИВИДУАЛЬНО-СОЦИАЛЬНОЙ АДАПТАЦИЕЙ У СТАРШЕКЛАСНИЦ ГОРОДА ПАВЕХ**

**Надя Эбрахими;****Химан Махмуд Факхе.****Университет Паяме Нур, Махабад, Иран.****Али Мостафайе.****Университет Паяме Нур, Западный Азербайджан, Иран**

*Аннотация.* Целью данного исследования является изучение взаимосвязи между агрессией и индивидуально-социальной адаптацией среди первокурсниц старшей школы города Павех. Нынешний исследовательский подход – корреляционный. Население и его демографические данные в этом исследовании включают всех первокурсниц старшей школы (2017–2018 гг.; 1200 человек) в городе Паве. Среди этой совокупности 290 человек были распределены по формуле Кокрана и методом стратифицированной случайной выборки. Были использованы такие инструменты исследования, как «Анкета агрессии» (Buss & Perry, 1992) и «Калифорнийская анкета индивидуально-социальной адаптации» (Clark et al., 1953). Анализ данных этого исследования был выполнен с помощью программного обеспечения SPSS и предоставил результаты в двух частях: описательную статистику и логическую статистику. Результаты показали, что существует значительная связь между агрессией и индивидуально-социальной адаптацией. Более того, они показали, что индивидуально-социальную адаптацию студентов можно прогнозировать по агрессии.

*Ключевые слова:* агрессия, индивидуально-социальная адаптация, студентка, женщина, город Паве

**Для цитирования:** Надя Эбрахими, Химан Махмуд Факхе, Али Мостафайе. Исследование взаимосвязи между агрессией и индивидуально-социальной адаптацией у старшеклассниц города Павех // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 159–171.

## **INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN AGGRESSION AND INDIVIDUAL-SOCIAL ADJUSTMENT IN THE FEMALE HIGH SCHOOL STUDENTS IN PAVEH CITY**

**Nadia Ebrahimi;****Himan Mahmood Fakhe.****Payame Noor university, Mahabad, Iran.****Ali Mostafaie.****Payame Noor university, West Azarbaijan, Iran**

*Abstract.* The purpose of this study is to investigate the relationship between aggression and individual-social adjustment among the first year of female high school students in Paveh city. The current research approach is a correlation. The population and its demographics of this investigation contain all the first year of female high school students (2017–2018; 1200 persons) in Paveh. Among this population, 290 persons were assigned referred to the Cochran formula and stratified random sampling method. Investigation tools including «Aggression Questionnaire» (Buss & Perry, 1992) and the individual-social adjustment «California Questionnaire» (Clark et al., 1953) were used. The data analysis of this study was performed by SPSS software and provided the results in two parts: descriptive statistics and inferential statistics.

The results demonstrated that there is a significant relationship between aggression and individual-social adjustment. Moreover, they showed that the individual-social adjustment of students can be predicted by aggression.

*Keywords:* aggression, individual-social adjustment, student, female, Paveh city

**For citation:** Nadia Ebrahimi, Himan Mahmood Fakhe, Ali Mostafaie. Investigating the relationship between aggression and individual-social adjustment in the female high school students in Paveh city // *Nauch.-analit. journ. «Vestnik S.-Peterb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia»*. 2022. № 3. P. 159–171.

## Introduction

Today, violence and aggression have been considered as a major global problem and the origin of many crimes, disorders, deviations, and even wars, as well as its destructive mental and physical effects on individual and social levels. Aggression, a disorder in young and younger children and a growing problem in young children, occurs in different forms. It cannot be related to a special age or particular time. In other words, aggression and violence have been existed since childhood and continue over time, but the most common occurrence of aggression can be related to adolescence and youth (Danone, 2015).

Lack of aggression control created physical, social, and mental effects in young children. Aggression can be used for the prediction of drugs and alcohol, smoking, low school adjustment, school expulsion, helpless feeling, social incompatibility, loneliness, disregard for the rights and wishes of others, and diseases such as stomach ulcer (gastric ulcer), hypertension, and depression. It seems that the family environment is one of the important and effective structural patterns in behavior learning such as aggression in individuals (Rama & Piterson, 2017) [26].

Also, adjustment ability in humans is one of the characteristics that play a key role in providing mental and physical health, because it provides a collection of acts, behaviors, conditions, and new situations that a person can walk the path of perfection by giving suitable responses and this progress can be seen in psychological and physical categories. Particularly, the adjustment is a personal effort to cope with and survive in social and physical sites (Anderson, 2018).

The adjustment, as a most important mental health indication (symptom) of children, is one of the issues that has attracted the attention of many sociologists, psychologists, and educators in recent decades (Behrangi and Sharifi, 2017) [1]. Moreover, social growth is the most important aspect of growth in each person, and the measurement criteria of social growth in each person are his/her adjustment to others (Fallahi, 2016) [2]. The social adjustment, such as physical, emotional, and intellectual developments, is a continuous quantity gradually perfected. It is acquired during life in dealing with experience (Salehi, 2015) [3].

Piaget (1970; quoted from Havi & Samaha) defines the adjustment as a dealing and compatibility aspect with the environment interacting with a person, according to the changes which occur due to the interaction between the person and environment throughout the life, he defines an adjustment as a dynamic process.

Social adjustment refers to data processing received from the social environment and personal activity in social situations. The basis of social adjustment is to create a balance between one's desires and social critics, which can affect all aspects of individual life. The individual adjustment refers to all the strategies that a person employes to direct stressful life events (Hosseini Miqan, 2016). Research by Kent and Dioji (2012) demonstrated that adolescents with higher levels of aggression have lower levels of social adjustment.

As adolescence is a time full of stress, tension, and great evolution, many behaviors of this period can affect all the stages of personal life (Puladi, 2012) [5]. Aggression and adjustment studies of this period are very important. The students, who have not acquired essential social skills, most often have behavioral disorders, are rejected by their peers, are not popular between peers and adults, and do not able to cope with their teachers and other skilled persons as well. Social-

individual adjustment, as the most important indicator of mental health, is one of the issues that has attracted the attention of many sociologists, psychologists, and educators in recent decades (Kent & Dioji, 2015).

Thus, the aim of the current study is to answer this question «Is there any relationship between aggression and social-individual adjustment among the first year of female high school students in Paveh city?».

### **Theoretical foundations of research. Social-individual adjustment**

American Psychiatric Association (2013; quoted by Ghasemi, 2014) [6] defines a social adjustment as «the coordination of the behavior to meet environmental needs that often require modification of impulses, emotions, or attitudes».

Sedighi (2011) has defined social adjustment as the best way wherein the relationship between people, groups, and cultural elements are satisfied. In other words, the relationship between people and groups is such that to provide their mutual satisfaction [7].

As a most important indicator of mental health in adolescents, social adjustment is one of the issues that has attracted the attention of many sociologists, psychologists, and educators in recent decades. Because adolescence is a sensitive period and social adjustments of youngsters undergo extremely intense emotional, physical, and mental changes, and has not fully developed yet. Due to this, delay in emotional maturity can lead to serious interpersonal problems in adolescents and create social challenges for them. Additionally, social growth is the most important aspect of growth in everyone's existence, and the measurement criteria of social growth in each person are his/her adjustment to others. (Atkinson & Hilgard, 2011; translated by Braheni et al., 2014) [8].

### **Adjustment criteria**

Certain criteria have been devised to evaluate adjustment as follows (Rastegari, 2016) [9]:

1. Psychological relief or relaxation: One of the most critical symptoms of poor compatibility is that a person feels psychologically disturbed in such a way that may be included depressive, anxiety, obsessive-compulsive, guilt or fear of illness modes and etc. Experiencing discomfort often stands for incapability of psychological adjustment (Kalhon, 2016; quoted by Raufi, 2017: 112) [10].

2. Job efficiency: Another criterion, that indicates a person has a good adjustment, is job efficiency. So, it is concluded that a person should have perfect job efficiency to have a normal adjustment (Sajjadi, 2015) [11].

3. Psychosomatic symptoms: Sometimes the only sign of improper compatibility is damage to body tissues. A normal person with good adjustment should not suffer from psychosomatic problems (Gerayee & Raheb-Manesh, 2016) [12].

4. Social acceptance: Some people are socially acceptable, i.e. they are people accepted by others (Azdadi and Solgi, 2016: 28) [13].

### **Factors affecting individual-social adjustment**

Many factors are affecting social adjustment and contributing towards it including individual, social, and religious-moral categories (Behrad, 2011) [14].

### **Types of individual-social incompatibility**

Ghasemi (2016: 60) divides incompatibility into three categories [15]:

*Moral conflict.*

An incompatible child or adult conflicts continuously with the surrounding facts and demands against his/her age and society.

### *Relative incompatibility.*

Individuals in this category, for their own reasons, resulting from social, family, and educational situations, need to be supervised by instructors without arranging special classes. In this incompatibility, the child is faced with a difficult situation due to dealing with problems. This condition is manifested through isolationism and seclusion, which is mostly accompanied by regular academic efficiency.

### *Normal incompatibility.*

A normal incompatibility is referred to a person with new demands expected from him/her, responding to them requires a hard effort. Also, incompatibility depends on the moral criteria and values of a society and is a relative and credible subject. The behavior called incompatible and abnormal in one society may be compatible and normal in others. Even in certain classes and groups in society, abnormal behavior has a special meaning. This is not static and fixed and changes over time due to social evolution, so society is always faced with the adjustment problem and, it is better to say, incompatible people, and will be. Because people must try to provide their needs and wishes in a certain social environment within a production system context and economic relations, regulations, arrangements, and cultural customs addition to the individual dimension of their needs and motivations dealt with hierarchically and accumulated from natural and artificial constraints, obstacles, problems, and limitations (Qatezadeh, 2017: 16) [16].

## **Aggression**

Henry Powell Mason (1970) defines aggression as «behavior aimed at damaging themselves or others. Here, the intention is known and indicates aggressive behavior (Henry Powell Mason, 1970, quoted by Karimi, 2015) [17]. In particular, aggression is divided into two types: hostile aggression and instrumental aggression. Hostile aggression is an aggressive practice that comes from an aggressive feeling and aims to apply pain and injury. But in instrumental aggression, there is an intention to damage another person, however, the injury is done to achieve a goal other than the pain and suffering. Hostile aggression is divided into two types of obvious aggression and relational aggression. In obvious aggression, the child hurts others or threatens them with such damage. For example, beating, kicking, or threatening to beat a peer. But, relational aggression is divided into two types of direct aggression and indirect aggression. It is used for children who deliberately exclude other children from the group. Some researchers define this type of behavior as social aggression and independent of obvious aggression (Moshabaki, 2010) [18].

### **Aggression theories**

#### **Frustration-aggression theory**

Aggression can be the cause of any unpleasant or boring situation such as pain and nostalgia. The most important factor in creating aggression among all boring situations is frustration. If a person fails to achieve his/her goal, the resulting frustration increases the possibility of his aggressive behavior. To interpret and describe this theory, it can be said that if children and adolescents fail to achieve their goals or their wishes, they feel frustrated and this feeling is manifested as aggression (Ghorbani and Amani, 2015) [19].

#### **Aggression-Aggression Theory**

Verbal abuse and insults of others are mostly a major factor in exposing aggressive actions on another one. According to this view, children, and adolescents exposed to violence and aggression by others, such as family members, classmates, and friends, or other people, aggressively react to these behaviors due to a sense of revenge created in them (Ghaderi, 2012) [20].

### **Aggression management training: a solution for aggression decrease**

Teaching aggression and aggression control skills, which provide the right and appropriate ways to express and manage emotions, can be effective to reduce aggressive behavior. By using self-relaxation, positive self-talk, and self-control, one can increase self-efficacy and social skills. The outlines and training programs for aggression management are taught during 8 sessions as follows:

- Introducing the program and expressing expectations and regulations.
- Explaining the concept of aggression.
- Expressing the physical symptoms of aggression and approaches of its early detection.
- Explaining how to calm yourself.
- Explaining how to change the self-group.
- Teaching how to express aggression adaptively.
- Teaching problem-solving methods.
- Evaluating a program and answering questions (Hosseini Miqan, 2016) [4].

### **Research background**

In a study, Hosseini Miqan (2016) [4] reviewed the descriptive and correlational relationship between attachment styles with aggression and marital conflicts in married employees of Golestan Tobacco Complex. The results show that attachment styles are considerable throughout life as well as their various stages and reduce the acquisition of proper attachment in the face of conflict and aggression in individuals.

In another research, Khodadadi (2015) [21] studied the effectiveness of aggression control strategies with stress on social adjustment of students with learning disabilities. The results show that there is a significant difference between the mean scores of pre-test and post-test in the experimental and control groups. Aggression control training increases the social adjustment of the experimental group compared to the control group. Also, the results show that this training has increased the emotional and academic adjustment of students in the experimental group.

Samadi Ahari (2015) [22], in a study, investigated the mediating role of attachment styles in the relationship between process, family content, and adjustment among female high school students in Shiraz in the academic year of 2014–2015. The analysis results of this study indicated that attachment styles have a significant mediating role concerning the process, family content, and adjustment.

Chen and Cheng (2018), in a study entitled the relationship between attachment styles and aggression among students, asserted that there is a negative relationship between safe and avoidant attachment styles and aggression components and a positive between ambivalent attachment style and aggression components [25].

In another study, Anderson (2018) [32] reviewed the relationship between attachment styles and social adjustment of adolescent students. In this regard, data were collected by a questionnaire. For this purpose, the questionnaire was presented among 117 adolescents to be completed. The results show that students with insecure and avoidant attachment styles have lower social adjustment and students with safe attachment styles have higher social adjustment.

Rama & Piterson (2017) [26], in a study, investigated the effect of aggression-communication adjustment training on students' social adjustment. For this purpose, 30 students were assigned by multi-stage cluster random sampling method and divided into two experimental and control groups by a simple random sampling method. The research instrument was two general health and social adjustment questionnaires of California. The experimental research method was also quasi-experimental. The results show that the training of regulation and control of communication aggression increases scores of the social adjustment questionnaire.

## Research method

The current research method is practical in terms of the goal and correlational-descriptive in terms of performance (implementation). The population and its demographics of this investigation contain all the first year of female high school students (2017–2018; 1200 persons) in Paveh. Among this population, 290 persons were assigned referred to the Cochran formula and stratified random sampling method. In this regard, first of all, 5 schools were randomly assigned among the all-female high schools in Paveh city. Next, two classes were randomly assigned as a sample among the classes of each school, and finally, the questionnaires were accidentally distributed among 290 students of these 10 classes. In this study, the data were collected in two ways: library method and field method. In the field method, the researcher collected the data using a questionnaire as the most common way of gathering information. They used questionnaires of this study are as follows:

### *Aggression questionnaire.*

In this study, the Buss & Perry Aggression Questionnaire (1992) [33] is used to measure aggression. This questionnaire is a self-report tool that includes 29 terms and 4 subscales, the subscales of which are:

- Physical aggression, including 9 terms: 2-5-8-11-13-16-22-25-29.
- Verbal aggression, including 5 terms: 4-6-14-21-27.
- Anger, including 7 terms: 1-9-12-18-19-23-28.
- Hostility, including 8 terms: 3-7-10-15-17-20-24-26.

Subjects will respond to each of the terms in a 5-point spectrum: quite like me (5), somewhat like me (4), neither like me nor not like me (3), somewhat not like me (2), strongly not like me (1), and two terms 9 and 16 will be scored reversely. The total score for aggression is obtained by summing the scores of subscales.

The aggression questionnaire has acceptable validity and reliability (credibility). The results of the retest coefficient for 4 subscales (9 weeks apart) were 0.80 to 0.72 and the correlation between 4 subscales was 0.38 to 0.49. Cronbach's alpha coefficient was used to measure the internal validity of the scale. The results showed that the internal consistency of the physical aggression subscale was 0.82, that of verbal aggression subscale was 0.81, that of anger was 0.83, and that of hostility was 0.80 (Buss and Perry, 1992) [33].

### *Individual-social adjustment questionnaire.*

In this study, the California CPI<sup>1</sup> psychological questionnaire has been used to assess adolescents' individual-social adjustment. Clark et al. have provided the test having two poles of individual and social adjustment in 1953 to measure the various life adjustment, with 180 two-option yes/no questions. The test has 12 subscales, half of which are for measuring individual adjustment and the other half for measuring social adjustment. The general dimensions and subscales of this questionnaire are as follows:

Individual adjustment: self-reliance, self-awareness, personal freedom, sense of belonging, repressed tendencies, and neurological symptoms.

Social adjustment: social patterns, social skills, antisocial interests, family relationships, school relationships, and social relationships.

This test is in the form of true/false, in which a «0» score is assigned to the false option and a «1» score to the true option, and the scores are added together for each subject. Then, the true scores related to 15 questions are added together to give the score of each subscale. Next, the scores of all 6 scales (i.e. social patterns, social skills, antisocial interests, family relationships, school relationships, social relationships) are added together and the total score of social adjustment is acquired.

---

<sup>1</sup> California Psychological Inventory

**Data analysis method.**

To analyze the data, SPSS statistical software was used and the results were analyzed in two parts of descriptive statistics, such as mean and standard deviation, and inferential statistics including Pearson correlation and regression tests.

**Results. Descriptive statistics**

Table 1. Descriptive indicators and normal variables of this study

Independent variable	Subscale	Number	Mean	Standard deviation	K-S	Significance
	Physical	290	20.40	6.340	0.571	0.900
	Verbal	290	13.14	4.178	0.942	0.337
Aggression	Anger	290	18.31	5.155	0.614	0.845
	Hostility	290	20.09	5.277	0.930	0.352
	Aggression	290	71.94	16.718	0.629	0.842
Criterion variable						
Individual adjustment	Self-reliance	290	9.69	2.003	1.142	0.142
	Self-awareness	290	10.09	1.862	1.115	0.167
	Personal freedom	290	10.18	2.251	1.133	0.152
	Sense of belonging	290	10.54	2.234	1.157	0.138
	Repressed tendencies	290	9.75	1.669	1.199	0.117
	Neurological symptoms	290	9.20	1.544	1.025	0.245
	Overall individual adjustment score	290	59.45	9.176	1.112	0.169
Social adjustment	Social patterns	290	9.39	1.831	1.130	0.155
	Social skills	290	9.59	1.836	0.968	0.306
	Antisocial interests	290	10.57	1.791	1.317	0.062
	Family relationships	290	9.72	1.919	1.116	0.162
	School relationships	290	9.28	1.643	1.167	0.131
	Social relationships	290	10.11	1.628	1.127	0.157
	Overall social adjustment score	290	58.65	7.946	1.291	0.071
	Individual-social adjustment	290	118.10	12.786	1.309	0.065

Table 1 shows the mean and standard deviation of aggression and adjustment variables. It is observed that the mean and standard deviation of aggression are 71.94 and 16.718, respectively, and the mean of safe, avoidant, and anxious attachment styles are 15.31, 15.01, and 14.83, respectively. Also, the mean and standard deviation of individual adjustment were 59.45 and 9.176, respectively, and the mean and standard deviation of social adjustment were 58.65



and 7.946, respectively. Also the mean and standard deviation of individual-social adjustment were 118.10 and 12.786, respectively. Also in this table, the normal variable data of the research criterion are investigated using the Kolmogorov-Smirnov test. It is observed that the significance level of this test for the variables is greater than 0.05, so it is concluded that the data of this variable are normal at a 95 % confidence level.

**Investigating the research hypotheses.**

**Hypothesis 1:** There is a significant relationship between aggression and individual-social adjustment in students.

Table 2. Correlation coefficient between aggression and individual-social adjustment

Variable	Self-reliance	Self-awareness	Personal freedom	Sense of belonging	Repressed tendencies	Neurological symptoms	Individual adjustment	Individual-social adjustment
Physical	-0.176**	-0.226**	-0.249**	-0.244**	-0.136*	-0.144*	-0.253**	
Verbal	-0.130*	-0.181**	-0.259**	-0.291**	-0.173**	-0.201**	-0.265**	
Anger	-0.210**	-0.233**	-0.264**	-0.345**	-0.245**	-0.226**	-0.325**	
Hostility	-0.265**	-0.213**	-0.291**	-0.302**	-0.212**	-0.272**	-0.330**	
Aggression	-0.248**	-0.270**	-0.332**	-0.367**	-0.238**	-0.260**	-0.367**	
Variable	Social patterns	Social skills	Antisocial interests	Family relationships	School relationships	Social relationships	Social adjustment	
Physical	-0.205**	-0.187**	-0.177**	-0.223**	-0.156**	-0.212**	-0.260**	-0.343**
Verbal	-0.223**	-0.158**	-0.197**	-0.245**	-0.152**	-0.277**	-0.280**	-0.364**
Anger	-0.262**	-0.224**	-0.215**	-0.243**	-0.215**	-0.269**	-0.319**	-0.431**
Hostility	-0.233**	-0.204**	0.295**	-0.268**	-0.111*	0.248**	-0.306**	-0.427**
Aggression	-0.288**	-0.244**	-0.276**	-0.305**	-0.199**	-0.311**	-0.363**	-0.489**

\* Significance at a level of 0.05, \*\* Significance at a level of 0.01, Number=290 persons

Table 2 shows the correlation between the total score of aggression with components and the total score of individual-social adjustment. It can be seen that the coefficient values of Pearson correlation between aggression scores, with dimensions of individual-social adjustment, are negative and significant at the level of  $P < 0.05$ . Also, the coefficient values of Pearson correlation between aggression scores, with individual adjustment, social adjustment, and the total individual-social adjustment scores, are -0.367, -0.363, and -0.489, respectively, as well as significant at the level of  $P < 0.05$ . So, it is concluded that there is a significant and inverse relationship between aggression scores and individual-social adjustment.

**Hypothesis 2:** Individual-social adjustment can be predicted by aggression in students.

Table 3. Correlation coefficients of the regression model for prediction of individual-social adjustment

Multiple correlation coefficient	Coefficient of determination	The adjusted coefficient of determination	The standard deviation of estimation error
0.554	0.307	0.297	10.718

Table 3 shows that the multiple correlation coefficient between the linear combination of predictor variables and individual-social adjustment is 0.55 and these predictor variables explain the variance of 0.31 for students' individual-social adjustment in total.

Table 4. **The regression model for prediction of individual-social adjustment**

	Total sum of squares	The degree of freedom	Mean square	F	Significance
Regression	14507/66	4	3626.915	31.572	0.001
Residual	32740.44	285	114.879		
Toral	47248.10	289			

Table 4 shows the regression model predicting individual-social adjustment through attachment and aggression styles in students. The value of F is equal to 31.572 and significant at the level of  $P < 0.05$ , so simultaneous multiple linear regression is significant for individual-social adjustment and predictor variables.

Table 5. **Standard coefficients of predictor variables**

	Significance	t	Standard coefficient	Standard error	Initial estimate
Model constant	142.009	6.796		20.897	0.001
Aggression	-0.315	0.040	-0.412	-7.868	0.001
Safe	0.703	0.230	0.167	3.061	0.002
Avoidant	-0.689	0.254	-0.145	-2.713	0.007
Anxious	-0.110	0.139	-0.043	-0.790	0.430

Table 5 shows the standard coefficients of the predictor variables in the above regression model. It is observed that for each unit increase in the standard deviation of safe attachment style scores, individual-social adjustment scores increase by 0.167 standard deviation. For each unit increase in standard deviation, aggression scores plus avoidant attachment style scores, and individual-social adjustment scores decrease by 0.412 and 0.145, respectively.

### Discussion and conclusion

In this study, the relationship between aggression and individual-social adjustment among female high school students in Pavoh city was reviewed. The results depicted that there is a significant relationship between aggression and individual-social adjustment in students. The coefficient values of Pearson correlation between aggression scores with dimensions of individual-social adjustment are negative and significant at the level of  $P < 0.05$ . Also, The coefficient values of Pearson correlation between aggression scores with individual adjustment scores, social adjustment scores, and the total individual-social adjustment scores are -0.367, -0.363, and -0.489, respectively, and significant at the level of  $P < 0.05$ . Therefore, there is a significant and inverse relationship between aggression scores and individual-social adjustment scores.

These results are consistent with the findings of Danone (2015) [30], Khodadai (1394) [21], Kent and Dioji (2012) [28].

To explain these findings, it can be said that the reason for the negative relationship between the level of social adjustment in the students and the level of aggression is that people with higher social adjustment capability can have better-balanced behavior in social communication, and based on lack of familiarity with social conditions not to show aggressive or emotional reactions. In other words, they can adapt themselves quickly to stressful social situations, using their adaptive capabilities, and avoid negative emotions such as fear and aggression. Social adjustment gives a kind of defensive shield for interpersonal communication to individuals who have less uncontrolled emotions in the context of using this shield; aggression is a kind of uncontrolled emotional behavior in the social context.

In a study, Khodadadi (2015) [21] shows that there is a significant difference between mean scores of pre-test and post-test in the experimental and control groups. Aggression control training increases the social adjustment of the experimental group compared to the control group. The results also show that this training has increased the emotional and academic adjustment of students in the experimental group. Miranson (2013) [27], in the other study, reviewed the relationship between aggression and individual-social adjustment in students. The sample included 270 primary school students. The data analysis results of the multivariate regression method show that there is a positive relationship between aggression and students' individual and social adjustment.

Also in a study, Danon (2015) [30] investigated the relationship between social adjustment and aggression among primary school students. The results of his study show that there is a negative and significant relationship between social adjustment and all components of aggression (physical and instrumental).

Moreover, findings indicate that individual-social adjustment can be predicated by attachment and aggression styles in the students.

Multiple linear regression coefficients are significant for individual-social adjustment and predictor variables ( $P < 0.01$ .  $F(4,285) = 31.572$ .  $R^2 = 0.31$ .  $R = 0.55$ ). Accordingly, the multiple correlation coefficient between the linear combination of predictor variables and individual-social adjustment is equal to 0.55; the predictor variables explain the variance of 0.31 for students' individual-social adjustment in total. For each unit increase in standard deviation, individual-social adjustment scores increase by 0.167 standard deviation. For each unit increase in standard deviation, aggression scores and individual-social adjustment scores decrease by 0.412 and 0.145 standard deviation, respectively.

These results are consistent with the findings of Samadi Ahari (2015) [22], Anderson (2018), Rama and Piterson (2017) [31], Hosseini Miqan (2016), Chen and Cheng (2018) [25], Danone (2015) [30], and Kent and Dioji (2012) [28].

To explain these findings, it is noted that social adjustment is behavior affected by many factors. Childhood traits and characteristics, caused by attachment styles, provide the basis for many right and wrong interpersonal behaviors in the field of social communication. Because people have learned how to react to interpersonal communication due to their type of attachment style; if the attachment is safe, rational, and reasonable behaviors resulting from the safe attachment can better create areas of social adjustment. Also, people, who do not enable to control negative emotions such as aggression, are not able to create effective and adaptive communication in social areas.

Yaqtin (2012) [23], in research, shows that there is an inverse and significant relationship between attachment styles and students' social adjustment. Also, Havi & Samaha (2016) [29], in research, show that there is a significant relationship between attachment styles and social adjustment. In another study, Kent & Dioji (2012) [28] found that adolescents with higher levels of aggression had lower levels of social adjustment. Jahnsen & Rabertan (2014) [24], in their research, reviewed the relationship between attachment styles and aggression in adolescent girls. The results showed that among attachment styles, two insecure-avoidant and insecure ambivalent styles had a positive and significant relationship with aggression and there was a negative and significant relationship between safe attachment style and aggression.

Based on these research findings, it is proposed that group courses of emotion regulation and emotion management should be held by school counseling centers for students with aggression scores above the average to control the level of aggression. It is also suggested that the students with below-average levels of social adjustment should be included in group communication and social skills training courses by school counseling centers.

## References

1. Behrangi S.R., Sharifi B. The Effects of Social Adjustment on Academic Achievement in Experimental Sciences in Middle School Students in Tehran, Master Thesis, Islamic Azad University of Tehran. 2017. P. 1–98.
2. Fallahi R. Investigating the Relationship between Social adjustment and Academic Achievement in Primary School Students in Tehran, 2<sup>nd</sup> International Conference on Education Science, 3<sup>rd</sup> Year. 2016. № 5. P. 110–120.
3. Salehi B. The Effect of Social Adjustment Training on Increasing Academic Achievement in Primary School Students in Iran, unpublished master thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz. 2015. P. 1–110.
4. Hosseini Miqan M. Investigating the Relationship between Attachment Styles with Aggression and Marital Conflicts in Married Employees of Golestan Tobacco Complex, Iranian Journal of Psychiatry and Clinical Psychology. 13<sup>th</sup> Year. 2016. № 1. P. 45–82.
5. Puladi R. Investigating the Relationship between Dimensions of Aggression with Psychological Well-Being and Social Adjustment in Adolescents in Khorramabad. Master Thesis, Azad University of Tehran. 2012.
6. Ghasemi S. Investigating the Effect of Social Adjustment on Self-Esteem and Learning Processes in Primary School Students in Tehran, Master Thesis. Allameh Tabatabai University. 2014.
7. Sedighi Z. Investigating the Effect of Social Adjustment Skills on Problem-Solving Skills in Students of Tehran Azad University. Master Thesis, Islamic Azad University of Tehran. 2011. P. 89–100.
8. Atkinson and Hilgard, translated by Braheni [et al.]. Full text of Hilgard Psychology, 20<sup>th</sup> edition, Tehran: Roshd. 2014.
9. Rastegari A. Positive Consequences of Social Adjustment in High School Students, Publications: Ofogh. 2016. P. 1–80.
10. Raufi M. The Effect of Teaching Social Adjustment Skills and General Educational Pattern on Learning of Female High School Students // Journal of School Psychology. 2017. 1 (3). P. 108–160.
11. Sajjadi S.N. Evaluation of the Effectiveness of Schema Therapy on Motivation and Academic Adjustment of Female Students in Kermanshah, Master Thesis, Razi University. 2015. P. 1–120.
12. Gerayee S., Raheb-Manesh J. A Study of the Relationship between Social Adjustment and Education among High School Students, Iranian Journal of Psychiatry and Clinical Psychology. 13<sup>th</sup> Year. 2016. № 1. P. 45–82.
13. Azdadi S., Solgi M. Investigating the Relationship between Mother's Education and Retention and Learning in Bilingual and Monolingual Primary School Students. 1<sup>st</sup> International Conference on Cognitive Psychology, Academic Center for Education, Culture and Research, Isfahan Branch. 2016. P. 3–12.
14. Behrad B. The Effect of Applying Metacognitive and Cognitive Strategies on Social Adjustment Skills in Primary School Students. Psychology and Educational Sciences, 3<sup>rd</sup> Year. 2011. № 9. P. 32–51.
15. Ghasemi P. Investigating the Effect of Teaching Learning Processes on Social Adjustment and Problem-Solving Abilities in Education Teachers in Semnan, Journal of Modern Psychological Researches (Psychology), 1<sup>st</sup> Iss. 2016. Vol. 3. P. 25–36.
16. Qatezadeh M.R. Investigating the Relationship between Motivation and Social Adjustment in Students, Master Thesis, Islamic Azad University of Tehran. 2017. P. 85–100.
17. Karimi P., Sepahvand E., Zakiee A., Dehghan F., Mohammadi O. The Relationship between Attachment Styles and Perception Of Parental Love with Test Anxiety in Talented Students // Research Journal of Shahid Beheshti University of Medical Sciences, 20<sup>th</sup> Year. 2015. № 5.

18. Moshabaki. Z. The Effectiveness of Mindfulness-based Stress Reduction on Mindfulness Improvement and Increased Assertiveness in Students with Coping Defiant Disorder // *Journal of School Psychology*. 2010. № 1 (3). P. 82–100.
19. Ghorbani A. and Amani A. Explaining the Theoretical Model for Parenting Styles, Attachment Styles, and Self-Differentiation of Couples // *Quarterly Journal of Counseling Culture and Psychotherapy*, 6<sup>th</sup> Year. 2015. № 21.
20. Ghaderi A. Investigating the Effect of Self-Motivational Beliefs on Children's Control Style, Master Thesis, Islamic Azad University of Tehran. 2012.
21. Khodadadi S. Evaluation of the Effectiveness of Stress Coping Strategies on Social Adjustment of Students with Learning Disabilities, Master Thesis, Ministry of Health, Treatment, and Medical Education, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences. 2015.
22. Samadi Ahri M. Investigating the Mediating Role of Social Problem-Solving in the Relationship between Family Process and Content and Adjustment among Female High School Students in Shiraz. Master Thesis, Islamic Azad University of Shiraz. 2015.
23. Yaqtin E. Investigating the Relationship between Attachment Styles and Parents' Mental Well-Being on Social Adjustment of High School Students in Shiraz. Master Thesis, Islamic Azad University of Tehran. 2012.
24. Janson & Rabertan B. Investigating the relationship between attachment styles and aggression among adolescent girls // *Psychological Review*. 2014. № 111 (6). P. 662–670.
25. Chen & Cheng H. Relationship between attachment styles and aggression among students // *Psychological Review*. 2018. № 111 (6). P. 662–670.
26. Rama & Piterson N. Investigating the effect of aggression-communication regulation training on social adjustment of students // *Psychological Review*. 2017. № 111 (6). P. 662–670.
27. Miranson F. The Study of the Relationship between Aggression and Individual Social Adjustment in Students // *Psychological Review*. 2013. № 111 (6). P. 662–670.
28. Kent & Dioji N. Investigating the predictive role of aggression in the social adjustment of students // *Psychological Review*. 2012. № 111 (6). P. 662–670.
29. Havi & Samaha J. Studying the relationship between attachment styles and social adjustment of students // *Psychological Review*. 2016. № 111 (6). P. 662–670.
30. Danon N. The study of the relationship between social adjustment and aggression among primary school students // *Psychological Review*. 2015. № 111 (6). P. 662–670.
31. Rama L. & Pitrtson K. The effect of cognitive-behavioral-communication training on social adjustment of students // *Journal of Developmental Psychology*. 2017. № 1 (2). P. 22–36.
32. Anderson F. Investigating the relationship between attachment styles and social adjustment of adolescent students // *Psychological Review*. 2018. № 111 (6). P. 662–670.
33. Buss A.H., & Perry M. The Aggression Questionnaire // *Journal of Personality and Clinical Psychology*. 1992. № 63. P. 452–459.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 11.07.2022; одобрена после рецензирования: 19.08.2022;  
принята к публикации: 29.08.2022

**Information about the article:**

The article was submitted to the editorial office: 11.07.2022; approved after review: 19.08.2022;  
accepted for publication: 29.08.2022

*Информация об авторах:*

**Надя Эбрахими**, магистр общей психологии, Университет Паяме Нур, Махабад, Иран (19569, Иран, Тегеран, ул. Наджаль)

**Али Мостафайе**, доцент кафедры психологии Университета Паяме Нур, Западный Азербайджан, Иран (19569, Иран, Тегеран, ул. Наджаль)

**Химан Махмуд Факхе**, доцент кафедры психологии Университета Паяме Нур, Махабад, Иран (19569, Иран, Тегеран, ул. Наджаль)

*Information about authors:*

**Nadia Ebrahimi**, master of general psychology, Payame Noor University, Mahabad, Iran (19569, Iran, Tehran, Najal st.)

**Ali Mostafaye**, associate professor, department of psychology, Payame Nur University, Western Azerbaijan, Iran (19569, Iran, Tehran, Najal st.)

**Himan Mahmoud Fakhe**, associate professor, department of psychology, Payame Noor University, Mahabad, Iran (19569, Iran, Tehran, Najal st.)

УДК 159.9.072.43

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И КОГНИТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ СПОРТСМЕНОВ СИЛОВЫХ ЕДИНОБОРСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АУДИОВИЗУАЛЬНОЙ СТИМУЛЯЦИИ

Алексей Александрович Бобрищев;

Константин Владимирович Мотовичев✉.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉[motovichev@igps.ru](mailto:motovichev@igps.ru)

*Аннотация.* Проводится краткий обзор научных публикаций отечественных и зарубежных исследователей, посвящённых использованию метода аудиовизуальной стимуляции для нормализации и оптимизации психофизиологического статуса различных категорий респондентов, включая спортсменов. Описываются результаты эмпирического исследования влияния аудиовизуальной стимуляции на восстановление работоспособности, функциональных резервов, когнитивных способностей путём улучшения памяти, внимания, мышления спортсменов силовых единоборств в период соревновательной деятельности. Дается описание и результаты проведённого сравнения показателей двух групп спортсменов – основной и контрольной, проходивших коррекционные мероприятия как с использованием, так и без использования аудиовизуальной стимуляции. Для оценки эффективности аудиовизуальной стимуляции использовался сравнительный анализ психологических и психофизиологических показателей спортсменов, измеряемых с помощью функциональных нагрузочных проб и психологических методик изучения свойств внимания, памяти и мышления. Установлено улучшение 6 из 10 измеряемых показателей в основной группе спортсменов и 2 из 10 показателей в контрольной группе по итогам коррекционных мероприятий. Результаты анализа полученных результатов свидетельствуют о более высокой эффективности коррекционных мероприятий с использованием метода аудиовизуальной стимуляции, на основе чего дается рекомендация по использованию данного метода при проведении коррекционных мероприятий со спортсменами силовых единоборств в период соревновательной деятельности.

*Ключевые слова:* аудиовизуальная стимуляция, психологический статус, психокоррекция, работоспособность, когнитивные способности, внимание, память, мышление, спортсмены силовых единоборств

**Для цитирования:** Бобрищев А.А., Мотовичев К.В. Восстановление работоспособности и когнитивных способностей спортсменов силовых единоборств с использованием метода аудиовизуальной стимуляции // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 172–179.

## RESTORATION OF WORKING CAPACITY AND COGNITIVE ABILITIES OF ATHLETES OF POWER MARTIAL ARTS USING THE METHOD OF AUDIOVISUAL SIMULATION

Alexei A. Bobrishev;

Konstantin V. Motovichev✉.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ [motovichev@igps.ru](mailto:motovichev@igps.ru)

*Abstract.* The article provides a brief overview of scientific publications of domestic and foreign researchers devoted to the use of the method of audiovisual stimulation to normalize and optimize the psychophysiological status of various categories of respondents, including athletes. The results of an empirical study of the influence of audiovisual stimulation on the restoration of working capacity, functional reserves, cognitive abilities by improving memory, attention, thinking of athletes of power martial arts during competitive activity are described. The description and results of the comparison of the indicators of two groups of athletes – the main and control, who underwent corrective measures both with and without the use of audiovisual stimulation are given. To assess the effectiveness of audiovisual stimulation, a comparative analysis of psychological and psychophysiological indicators of athletes was used, measured using functional load tests and psychological methods for studying the properties of attention, memory and thinking. The improvement of 6 out of 10 measured indicators in the main group of athletes and 2 out of 10 indicators in the control group was found based on the results of corrective measures. The results of the analysis of the obtained results indicate a higher efficiency of corrective measures using the method of audiovisual stimulation, on the basis of which a recommendation is given on the use of this method when carrying out corrective measures with athletes of power martial arts during competitive activity.

*Keywords:* audiovisual stimulation, psychological status, psychocorrection, performance, cognitive abilities, attention, memory, thinking, athletes of power martial arts

**For citation:** Bobrishev A.A., Motovichev K.V. Restoration of working capacity and cognitive abilities of athletes of power martial arts using the method of audiovisual simulation // Nauch.-analit. journ. «Vestnik S.-Peterb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 172–179.

### Введение

Исследования ряда авторов [1–4] показали, что психологический статус спортсменов силовых единоборств в период подготовки к соревновательной деятельности и непосредственно во время участия в соревнованиях характеризуется рядом негативных проявлений, в частности снижается физическая работоспособность и функциональные резервы организма, страдают когнитивные процессы – ухудшается внимание, память, снижается скорость мышления.

Одним из достаточно новых и перспективных методов экспресс-коррекции психологического статуса является метод аудиовизуальной стимуляции. Использование данного метода для психокоррекции психологического статуса различных категорий респондентов отражено в ряде научных трудов отечественных и зарубежных исследователей. В частности, В.Н. Сысоев с соавторами [5] указывают на оптимизацию функционального состояния организма и ускоренное восстановление работоспособности курсантов Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова после 15-минутного сеанса аудиовизуальной стимуляции, данное заключение подтверждается данными В.А. Дудельзона с соавторами [6], изучавшими воздействие аудиовизуальной стимуляции на военнослужащих, имевших опыт участия в боевых действиях и показавших нормализацию их психофизиологического статуса после проведения коррекционно-восстановительных мероприятий, а также результатами



исследования Н.В. Пац и В.Е. Горюновой, проведённого на различных расовых группах людей [7].

Применение метода аудиовизуальной стимуляции для лучшего восстановления спортсменов рекомендуют по результатам своих исследований М.С. Головин и Р.И. Айзман [3], В.А. Москвин и Н.В. Москвина [8]. Ашанина Е.Н. и Кулаков Д.В. в своей монографии описывают успешное применение метода аудиовизуального воздействия совместно с методом биологической обратной связи для коррекции дезадаптивных нервно-психических состояний [9].

В трудах зарубежных авторов данный вопрос также достаточно подробно освещен, рассматриваются вопросы положительного воздействия аудиовизуальной стимуляции от всестороннего обзора её положительных эффектов Т.Л. Huang, С.А. Charyton [10], до коррекции депрессивных расстройств Н. Kumano [11], влияния на самосознание и сложность образов визуального воображения А. Richardson [12] и D. Siever [13]. В целом указанные авторы также подтверждают позитивное влияние аудиовизуальной стимуляции на ряд психологических показателей.

Ранее авторами анализировались возможности метода аудиовизуальной стимуляции для воздействия на психоэмоциональный компонент психологического статуса спортсменов силовых единоборств [1, 2, 4]. Данный метод показал свою достаточно высокую эффективность при оптимизации психоэмоционального состояния спортсменов, поэтому вызывает достаточно высокий интерес изучение возможностей метода аудиовизуальной стимуляции для улучшения функционирования другой составляющей психологического статуса – физической работоспособности и познавательных психических процессов.

Исходя из всего вышесказанного, становится очевидной актуальность разработки методов экспресс-коррекции психологического статуса спортсменов силовых единоборств при подготовке и осуществлении соревновательной деятельности.

### Методы исследования

Для реализации заявленных целей экспресс-коррекции психофизиологических компонентов психологического статуса использовался программно-аппаратный комплекс «Мираж», позволяющий в течение достаточно короткого времени восстанавливать работоспособность и улучшать внимание, память и мышление спортсменов силовых единоборств, участвующих в соревновательной деятельности, и были подобраны две группы спортсменов силовых единоборств.

Первая и основная группа спортсменов силовых единоборств состояла из 28 чел., с ними ежедневно проводилась психокоррекционная работа на основе применения 30-минутных сеансов аудиовизуальной стимуляции с использованием программно-аппаратного комплекса «Мираж» и традиционных для спортивной психологии психокоррекционных упражнений в течение пяти дней соревнований.

Вторая (контрольная) группа спортсменов силовых единоборств состояла из 26 чел., проходивших только курс традиционных психокоррекционных упражнений в течение того же времени. Состав основной и контрольной групп был рандомизирован по полу, возрасту, состоянию здоровья и уровню спортивной подготовки.

Традиционный курс психокоррекционных упражнений состоял из сеансов мануальной терапии и функциональной музыки для коррекции рассматриваемых компонентов психологического статуса.

Для оценки степени воздействия аудиовизуальной стимуляции на работоспособность, функциональное состояние памяти, внимания и мышления спортсменов были подобраны методики, позволяющие измерить рассматриваемые качества в течение короткого времени, кроме того, использование данных методик позволяет получать объективные показатели. Уровень физической работоспособности и функциональных резервов спортсменов оценивался с помощью классических проб и методик, в состав которых входили

функциональные нагрузочные пробы Штанге, Генча, Руфье [4], а также измерение статического мышечного усилия кистевым динамометром.

Изменения в работе памяти, внимания и мышления спортсменов измеряли с использованием диагностических методик: «Установление закономерностей» (Б.Л. Покровский, 1961), «Диагностика функционального состояния ЦНС» (Т.Д. Лоскутова, 1975) с адаптированной В.Ю. Рыбниковым и Д.А. Завалишиным шкалой оценок и «Кратковременная зрительная память» [4]. Для тестирования использовался вариант тестов, реализованный в автоматизированной системе «Оперативный контроль состояния» (ОКС).

### Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 представлены результаты сравнения показателей спортсменов основной группы, полученные до и после проведения коррекционных мероприятий.

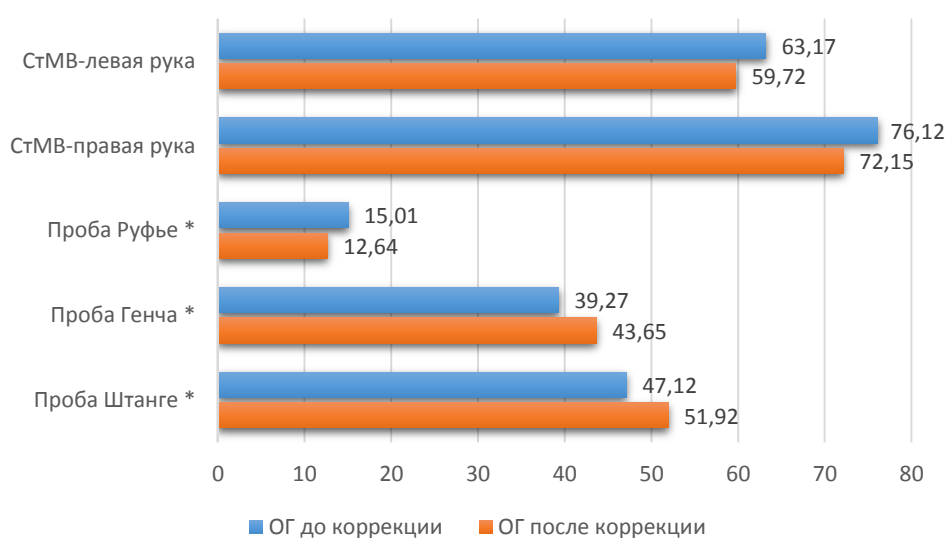


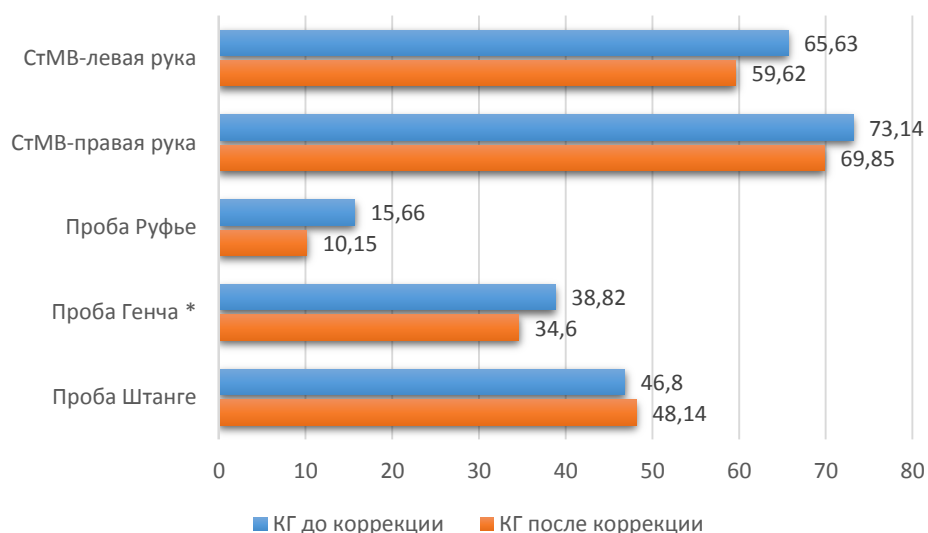
Рис. 1. Показатели работоспособности и функциональных резервов спортсменов силовых единоборств основной группы (ОГ) до и после коррекции (\* – различия достоверны на уровне значимости  $p < 0,05$ )

Как видно из рис. 1, у спортсменов основной группы достоверно ( $p < 0,05$ ) улучшились показатели по пробам Руфье, Генча и Штанге. Повышение показателей по пробам Генча и Штанге свидетельствует о достоверном улучшении функционального состояния организма спортсменов, выражающееся в устойчивости организма к недостатку кислорода, и косвенно свидетельствует о нормализации психофизиологического состояния и увеличении работоспособности и функциональных резервов спортсменов основной группы. Об улучшении работоспособности и функциональных резервов спортсменов свидетельствуют результаты пробы Руфье.

По результатам измерения статического мышечного усилия кистевым динамометром на обеих руках спортсменов основной группы достоверных результатов не выявлено.

В целом у спортсменов основной группы улучшились показатели по трем из пяти показателей (60 % показателей), что указывает на достаточно существенное улучшение у них работоспособности и функционального состояния организма.

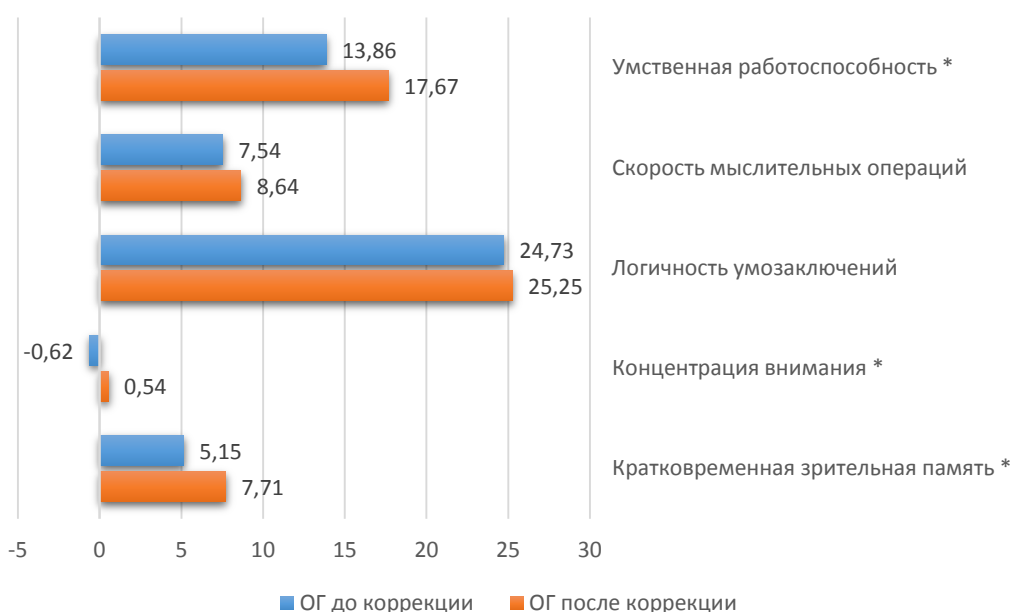
Результаты исследования показателей функциональных резервов спортсменов контрольной группы представлены на рис. 2.



**Рис. 2. Показатели работоспособности и функциональных резервов спортсменов силовых единоборств контрольной группы (КГ) до и после коррекции (\* – различия достоверны на уровне значимости  $p < 0,05$ )**

Согласно данным, приведённым на рис. 2, работоспособность и функциональные резервы спортсменов силовых единоборств контрольной группы достоверно улучшились лишь по показателям шкалы Генча, по остальным достоверных различий не было выявлено. В целом показатели улучшились лишь по одному показателю (20 % показателей), что указывает на существенно меньшую эффективность коррекции без использования метода аудиовизуальной стимуляции.

Далее, на рис. 3 приводятся результаты изменения показателей познавательных психических процессов у спортсменов основной группы до и после проводимых с ними коррекционных мероприятий.



**Рис. 3. Показатели познавательных психических процессов спортсменов силовых единоборств основной группы до и после коррекции (\* – различия достоверны на уровне значимости  $p < 0,05$ )**

Исходя из результатов, представленных на рис. 3, можно отметить достоверное улучшение ( $p < 0,05$ ) трёх показателей: «умственная работоспособность», «концентрация внимания» и «кратковременная зрительная память» после коррекции у спортсменов силовых единоборств, при этом остальные показатели также улучшились по своим абсолютным значениям. Из пяти показателей достоверно улучшились три (60 % показателей), что указывает на заметную положительную динамику показателей внимания, памяти и мышления.

Вместе с тем по показателям познавательных психических процессов спортсменов силовых единоборств контрольной группы было выявлено достоверное улучшение ( $p < 0,05$ ) лишь по одному показателю – «концентрация внимания» (рис. 4).

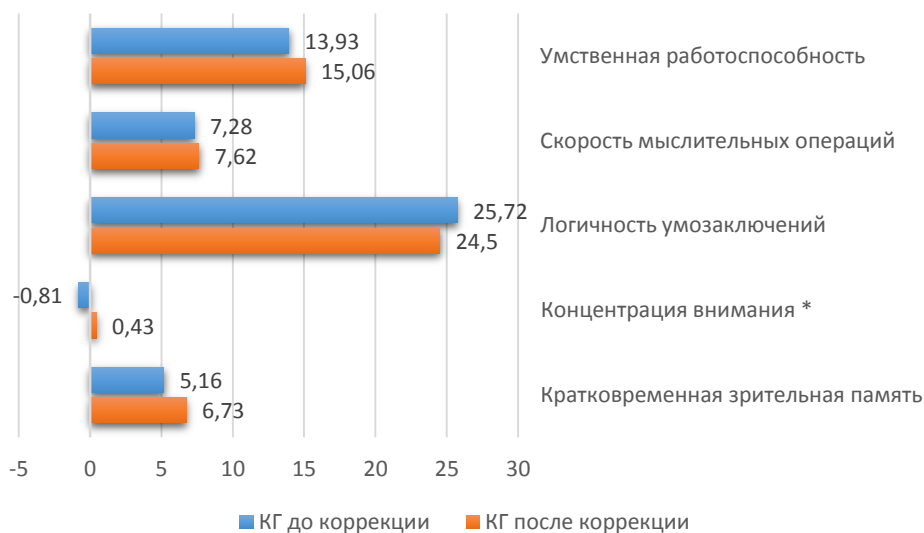


Рис. 4. Показатели познавательных психических процессов спортсменов силовых единоборств контрольной группы до и после коррекции (\* – различия достоверны на уровне значимости  $p < 0,05$ )

В целом из пяти показателей достоверно улучшился один (60 % показателей). Данный результат указывает на недостаточную эффективность традиционных методов коррекции, используемых в спортивной психологии для улучшения внимания, памяти и мышления спортсменов силовых единоборств.

### Заключение

Полученные в ходе исследования данные убедительно доказывают высокую эффективность использования аудиовизуальной стимуляции на основе программно-аппаратного комплекса «Мираж» для улучшения психофизиологического состояния спортсменов силовых единоборств во время участия в соревновательной деятельности. В частности, можно отметить более существенное улучшение показателей физической работоспособности и функциональных резервов организма, а также улучшение показателей внимания, памяти и скорости мышления у спортсменов силовых единоборств, вошедших в основную группу, по сравнению со спортсменами контрольной группы.

### Список источников

1. Бобрищев А.А. Аудиовизуальная коррекция психического состояния и работоспособности спортсменов высшей квалификации // Вестник психотерапии. 2007. № 22 (27). С. 61–62.

2. Бобрищев А.А., Мотовичев К.В. Использование метода аудиовизуальной стимуляции для нормализации психоэмоционального состояния спортсменов силовых единоборств // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2019. № 4. С. 138–143.
3. Головин М.С., Айзман Р.И. Использование аудиовизуальной стимуляции для повышения психо-функциональных резервов спортсменов // Научно-спортивный вестник Урала и Сибири. 2015. № 3 (6). С. 22–25.
4. Рыбников В.Ю., Бобрищев А.А., Голуб Я.В. Аудиовизуальная коррекция функционального состояния спортсменов: теория и практика: монография. СПб.: Политехника-сервис, 2009. 48 с.
5. Оценка эффективности использования однократного сеанса аудиовизуальной стимуляции для коррекции функционального состояния организма / В.Н. Сысоев [и др.] // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2018. Т. 20. № 3. С. 128–132. Doi: 10.17816/brmma12293.
6. Дудельзон В.А., Кальманов А.С., Булавин В.В. Применение различных режимов аудиовизуальной стимуляции для оптимизации функционального состояния военнослужащих // Военно-медицинский журнал. 2018. Т. 339. № 5. С. 47–51.
7. Пац Н.В., Горюнова В.Е. Сравнительная характеристика изменения умственной работоспособности у представителей студенчества различных расовых групп до и после аудиовизуальной стимуляции // Заметки ученого. 2021. № 3-2. С. 143–150.
8. Москвин В.А., Москвина Н.В. Метод аудиовизуальной стимуляции как способ психофизиологической подготовки спортсменов // Спортивный психолог. 2009. № 3. С. 55–60.
9. Ашанина Е.Н., Кулаков Д.В. Теория и практика коррекции дезадаптивных нервно-психических состояний с помощью аудиовизуального воздействия и биологически обратной связи: монография. СПб.: Политехника-сервис, 2012. Вып. 2. 101 с.
10. Huang T.L., Charyton C. A comprehensive review of the psychological effects of brainwave entrainment // Altern. Ther. Health. Med. 2008. Vol. 14. № 5. P. 38–50.
11. Treatment of a depressive disorder patient with EEG-driven photic stimulation / H. Kumano [et al.] // Biofeedback Self. Regul. 1996. Vol. 21. № 4. P. 323–334.
12. Richardson A., McAndrew F. The effects of photic stimulation and private self-consciousness on the complexity of visual imagination imagery // British J. of Psychology. 1990. № 81. P. 381–394.
13. Siever D. The rediscovery of audio-visual entrainment technology. Comptronic devices limited. 1997–2000. Edmonton; Alberta; Canada. 132 p.

## References

1. Bobrishchev A.A. Audiovizual'naya korrekciya psicheskogo sostoyaniya i rabotosposobnosti sportsmenov vysshej kvalifikacii // Vestnik psihoterapii. 2007. № 22 (27). S. 61–62.
2. Bobrishchev A.A., Motovichev K.V. Ispol'zovanie metoda audiovizual'noj stimulyacii dlya normalizacii psihoemocional'nogo sostoyaniya sportsmenov silovyh edinoborstv // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2019. № 4. S. 138–143.
3. Golovin M.S., Ajzman R.I. Ispol'zovanie audiovizual'noj stimulyacii dlya povysheniya psiho-funktional'nyh rezervov sportsmenov // Nauchno-sportivnyj vestnik Urala i Sibiri. 2015. № 3 (6). S. 22–25.
4. Rybnikov V.Yu., Bobrishchev A.A., Golub Ya.V. Audiovizual'naya korrekciya funkcional'nogo sostoyaniya sportsmenov: teoriya i praktika: monografiya. SPb.: Politekhnikaservis, 2009. 48 s.
5. Ocenka effektivnosti ispol'zovaniya odnokratnogo seansa audiovizual'noj stimulyacii dlya korrekcii funkcional'nogo sostoyaniya organizma / V.N. Sysoev [i dr.] // Vestnik Rossijskoj Voenno-meditsinskoj akademii. 2018. T. 20. № 3. С. 128–132. doi: 10.17816/brmma12293.

6. Dudel'zon V.A., Kal'manov A.S., Bulavin V.V. Primenenie razlichnyh rezhimov audiovizual'noj stimulyacii dlya optimizacii funkcional'nogo sostoyaniya voennosluzhashchih // Voenno-medicinskij zhurnal. 2018. T. 339. № 5. S. 47–51.
7. Рас N.V., Goryunova V.E. Sravnitel'naya harakteristika izmeneniya umstvennoj rabotosposobnosti u predstavitelej studenchestva razlichnyh rasovyh grupp do i posle audiovizual'noj stimulyacii // Zаметки uchenogo. 2021. № 3-2. S. 143–150.
8. Moskvин V.A., Moskvina N.V. Metod audiovizual'noj stimulyacii kak sposob psihofiziologicheskoy podgotovki sportsmenov // Sportivnyj psiholog. 2009. № 3. S. 55–60.
9. Ashanina E.N., Kulakov D.V. Teoriya i praktika korrekcii dezadaptivnyh nervno-psihicheskikh sostoyanij s pomoshch'yu audiovizual'nogo vozdejstviya i biologicheskoi obratnoj svyazi: monografiya. SPb.: Politekhnik-a-servis, 2012. Vyp. 2. 101 s.
10. Huang T.L., Charyton C. A comprehensive review of the psychological effects of brainwave entrainment // Altern. Ther. Health. Med. 2008. Vol. 14. № 5. P. 38–50.
11. Treatment of a depressive disorder patient with EEG-driven photic stimulation / N. Kumano [et al.] // Biofeedback Self. Regul. 1996. Vol. 21. № 4. P. 323–334.
12. Richardson A., McAndrew F. The effects of photic stimulation and private self-consciousness on the complexity of visual imagination imagery // British J. of Psychology. 1990. № 81. P. 381–394.
13. Siever D. The rediscovery of audio-visual entrainment technology. Comptronic devices limited. 1997–2000. Edmonton; Alberta; Canada. 132 p.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 07.09.2022; одобрена после рецензирования: 15.09.2022; принята к публикации: 16.09.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 07.09.2022; approved after review: 15.09.2022; accepted for publication: 16.09.2022

*Информация об авторах:*

**Алексей Александрович Бобрищев**, профессор кафедры физической подготовки Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор психологических наук, профессор, e-mail: 0719692010@mail.ru

**Константин Владимирович Мотовичев**, начальник кафедры физической подготовки Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат экономических наук, e-mail: motovichev@igps.ru

*Information about authors:*

**Aleksey A. Bobrishev**, professor of the department of physical training, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of psychology, professor, e-mail: 0719692010@mail.ru

**Konstantin V. Motovichev**, head of the department of physical training, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of economic sciences, e-mail: motovichev@igps.ru

---

---

## ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

---

---

УДК 614.845

### **НАТУРНАЯ МОДЕЛЬ ОЧАГА ПОЖАРА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГОРЯЩИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ И ОГNETУШАЩЕГО ПОРОШКА**

**Алина Станиславовна Константинова**<sup>✉</sup>.

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**

<sup>✉</sup>[ak090695@yandex.ru](mailto:ak090695@yandex.ru)

*Аннотация.* Разработано устройство для натурального моделирования пожара нефтепродуктов, позволяющее определять огнетушащий эффект порошкового состава в контрольных точках плоскости поперечного сечения нестационарного газопорошкового потока. Предложен алгоритм огневых испытаний с использованием разработанного устройства и растворителя 646 в качестве горючего для экспериментальных очагов пожара, повышающий точность оценки огнетушащего эффекта порошка.

Синтезирован комплексный показатель оценки взаимодействия горящих нефтепродуктов и огнетушащего вещества, включающий в себя безразмерные относительные показатели пожарной опасности жидкости и характеристик подачи порошка. Комплексный показатель позволяет оценить опасность экспериментального очага пожара при использовании горючей жидкости, отличной от растворителя 646. При испытаниях следует считать приоритетными результаты тушения очагов, для которых комплексный показатель будет больше, как наиболее опасных.

*Ключевые слова:* огневые испытания, порошковый огнетушитель, газопорошковый поток, горючая жидкость

**Для цитирования:** Константинова А.С. Натурная модель очага пожара для оценки взаимодействия горящих нефтепродуктов и огнетушащего порошка // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 180–187.

### **A FULL-SCALE MODEL OF A FIRE SOURCE FOR EVALUATING THE INTERACTION OF BURNING PETROLEUM PRODUCTS AND FIRE EXTINGUISHING POWDER**

**Alina S. Konstantinova**<sup>✉</sup>.

**Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia**

<sup>✉</sup>[ak090695@yandex.ru](mailto:ak090695@yandex.ru)

*Abstract.* A device for as-build simulation of a petroleum products fire has been developed, It allows you to determine the fire extinguishing effect of the powder composition at the control points of the cross section of a non-stationary gas-powder stream. An algorithm for fire tests using the developed device and solvent 646 as a fuel for experimental fires is proposed, which increases the accuracy of assessing the fire-extinguishing effect of the powder.

A complex indicator for evaluating the interaction between burning oil products and a fire extinguishing agent has been synthesized, which includes dimensionless relative indicators of the fire

hazard liquid and the characteristics of the powder supply. The complex indicator makes it possible to assess the danger of an experimental fire focuses when using a combustible liquid other than solvent 646. The priority should be given to the results of extinguishing fires, for which the complex indicator will be higher, as the most dangerous.

*Keywords:* fire tests, powder fire extinguisher, gas-powder stream, combustible liquid

**For citation:** Konstantinova A.S. A full-scale model of a fire source for evaluating the interaction of burning petroleum products and extinguishing powder // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 180–187.

## Введение

В целях содействия потребителям в компетентном выборе продукции проводят подтверждение соответствия [1, ст. 18]. Для ручных огнетушителей его проводят по схемам 2с, 3с, 4с, 5с и 6с [2, ст. 146], включающим в себя сертификационные огневые испытания.

Порядок проведения огневых испытаний огнетушителей описан в приложении В [3]. Применительно к нефтегазовой отрасли наиболее значимым показателем полезности огнетушителя является способность тушить очаги пожара класса В. Модельный очаг пожара (МОП) класса В представляет собой круглый противень из листовой стали, в который в качестве горючего заливают автомобильный бензин «летнего» вида, соответствующий требованиям ГОСТ Р 51105–97 [4]. Параметры рангов МОП приведены в таблице В.3 [3]. Огнетушитель считают выдержавшим испытания при успешном тушении очага в двух попытках из трёх.

Были выявлены недостатки установленных стандартом [3] огневых испытаний порошковых огнетушителей. Из анализа нормативных документов следует, что в ходе испытаний определяют показатели газопорошковой струи, не влияющие на огнетушащий эффект, например длина струи и показатели, не используемые при оценке огнетушащей эффективности порошка, такие как время подачи и фактический расход. При испытаниях не учитывают преобладающий механизм тушения МОП (охлаждение, разбавление, срыв пламени). Существуют расхождения требований нормативных документов при определении расстояния подачи огнетушащих веществ (ОТВ). Отсутствуют требования к насадкам на огнетушители, неоднозначны требования к оснащению шлангом огнетушителей типоразмера ОП-4 [5].

При этом экспериментально установлено, что огнетушащая способность порошка зависит от таких физических величин, как его насыпная плотность, угол подачи в очаг относительно горизонта, давление вытеснения, площадь поперечного сечения потока, угол раскрытия и скорость газопорошковой струи, масса порошка, осевшего на поверхность очага, а также от параметров насадки. Перечисленные ранее недостатки стандартных огневых испытаний могут приводить к существенному (в два раза) занижению оценки огнетушащей способности [6].

В работе [7] исследована зависимость огнетушащих характеристик порошка от давления подачи. Установлено, что при увеличении давления подачи порошкового состава в испытательную камеру с 0,2 МПа до 1,0 МПа время тушения очага уменьшается с 34 до 4 сек.

Влияние размера частиц огнетушащего порошка на тушение очага горения рассмотрено в работах зарубежных исследователей [8–11]. Авторами этих работ экспериментально подтверждено повышение огнетушащего эффекта с уменьшением размера фракций при одновременном снижении способности их проникновения в зону горения.

В статье [12] рассмотрена схема сертификации огнетушителей для рынка Республики Сербия, где в рамках гармонизации с международными нормами и стандартами были отменены национальные стандарты серии SRPS Z.C2 [13] и заменены соответствующими стандартами SRPS EN3. В Сербии отсутствуют лаборатории, аккредитованные для



испытаний огнетушителей по европейским стандартам, поэтому заинтересованные производители при сертификации своей продукции пользуются услугами лабораторий на территории Германии, Греции или Бельгии. Однако на рынке Сербии до сих пор находится несколько тысяч огнетушителей, сертифицированных по отмененным стандартам и находящихся в исправном состоянии, а стандарт SRPS-EN фактически не применяется. Авторами статьи [12] предложены натурные модели очагов пожара различных классов для испытания огнетушителей, в том числе класса С, тушение которого в рамках сертификационных испытаний не предусмотрено российскими нормативными документами.

Экспериментально подтверждена неоднородность распределения массы частиц различных фракций в поперечном сечении нестационарного газопорошкового потока [14]. Следовательно, огнетушащая способность одного и того же порошка может отличаться в разных точках этого сечения.

### Модель и методы исследования

Предложен алгоритм огневых испытаний, который позволяет определять огнетушащий эффект порошкового состава в контрольных точках плоскости поперечного сечения нестационарного газопорошкового потока, повышая тем самым точность оценки.

Для проведения испытаний предложено применять устройство, изображенное на рисунке. Оно позволяет моделировать тушение горящих нефтепродуктов в контрольных точках поперечного сечения газопорошкового потока. В этих точках размещены экспериментальные очаги пожара (ЭОП) – ёмкости круглой формы, заполненные горючей жидкостью (ГЖ). Площадь зеркала жидкости каждого очага составляет  $38,5 \text{ см}^2$ .

При проведении эксперимента на заданном расстоянии от плоскости расположения ЭОП устанавливают огнетушитель или модель огнетушителя с навеской огнетушащего порошка заданной массы. Поджигают ГЖ, затем подают порошок. Об огнетушащем эффекте в контрольных точках сечения газопорошкового потока судят, визуальную фиксируя прекращение горения в каждом из очагов.

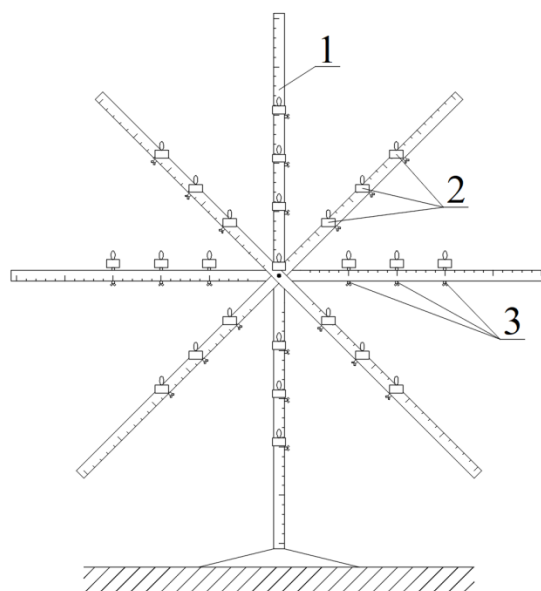


Рис. Система экспериментальных очагов пожара для моделирования тушения горящих нефтепродуктов в контрольных точках поперечного сечения газопорошкового потока:

1 – стержни каркаса; 2 – экспериментальные очаги пожара;

3 – зажимы для закрепления ёмкостей, позволяющие изменять расстояние от точки пересечения стержней до ЭОП

Устройство позволяет изменять расстояние от очагов пожара до точки пересечения стержней каркаса и находить их оптимальное расположение в предполагаемой зоне распространения огнетушащего порошка.

На устройство получен патент [15].

В качестве ГЖ в эксперименте применен растворитель 646, в состав которого входят жидкие углеводороды, %<sub>масс</sub>: толуол – 50, бутилацетат – 24, этанол – 10, изобутанол – 10, ацетон – 6 [16, стр. 153]. Содержание веществ различных классов, в том числе полярных и неполярных жидкостей, делает этот растворитель универсальной моделью горючей нагрузки на объекте нефтегазового комплекса [6]. В силу экономических или организационных причин может возникнуть необходимость замены ГЖ для ЭОП. Для таких случаев разработан комплексный показатель оценки взаимодействия горящих нефтепродуктов и ОТВ (комплексный показатель), в состав которого входят безразмерные относительные показатели пожарной опасности жидкости и характеристик подачи порошка.

### Результаты и их обсуждение

В табл. 1 приведены определяющие и зависимые величины, входящие в комплексный показатель.

Таблица 1. Комплексная характеристика оценки взаимодействия ГЖ и ОТВ

№ п/п	Показатели взаимодействия ГЖ и ОТВ	Обозначение	Единица измерения (система СИ)
А. Определяющие величины			
1	Начальная температура ГЖ	$t_{нач}$	К
2	Площадь зеркала ГЖ ЭОП	$S_{оч}$	м <sup>2</sup>
3	Огнетушащая способность порошка	$C_{пор}$	$\frac{кг}{м^2}$
4	Удельная скорость выгорания ГЖ	$v_{выг}$	$\frac{кг \cdot м^2}{с}$
Б. Зависимые величины			
5	Температура вспышки ГЖ	$t_{всп}$	К
6	Удельная скорость тепловыделения ЭОП	$v_{теп}$	$\frac{кг \cdot м^2}{с^3}$
7	Удельная теплота сгорания ГЖ	$Q_{гор}$	$\frac{м^2}{с^2}$
8	Интенсивность подачи порошка	$I_{пор}$	$\frac{кг}{с \cdot м^2}$

Из определяющих и зависимых величин составлено четыре уравнения связи параметров взаимодействия ГЖ и ОТВ. Корни составленных уравнений представлены в табл. 2.

$$\pi_1 = t_{нач} \cdot t_{всп}^{X_1} \cdot v_{теп}^{Y_1} \cdot Q_{гор}^{Z_1} \cdot I_{пор}^{W_1}; \quad (1)$$

$$\pi_2 = S_{оч} \cdot t_{всп}^{X_2} \cdot v_{теп}^{Y_2} \cdot Q_{гор}^{Z_2} \cdot I_{пор}^{W_2}; \quad (2)$$

$$\pi_3 = C_{пор} \cdot t_{всп}^{X_3} \cdot v_{теп}^{Y_3} \cdot Q_{гор}^{Z_3} \cdot I_{пор}^{W_3}; \quad (3)$$

$$\pi_4 = v_{выг} \cdot t_{всп}^{X_4} \cdot v_{теп}^{Y_4} \cdot Q_{гор}^{Z_4} \cdot I_{пор}^{W_4}. \quad (4)$$

Таблица 2. Корни уравнений (1–4)

Показатель	Степени величин, входящих в уравнение			
	$X_1$	$Y_1$	$Z_1$	$W_1$
$\pi_1$	$X_1$	$Y_1$	$Z_1$	$W_1$
	-1	0	0	0
$\pi_2$	$X_2$	$Y_2$	$Z_2$	$W_2$
	0	1	-1	-1
$\pi_3$	$X_3$	$Y_3$	$Z_3$	$W_3$
	0	1	-2	-2
$\pi_4$	$X_4$	$Y_4$	$Z_4$	$W_4$
	0	-2	2	1

В табл. 3 раскрыт физический смысл полученных относительных показателей.

Таблица 3. Физический смысл относительных показателей

Относительные показатели	Физический смысл относительных показателей
$[\pi_1] = \frac{t_{\text{нач}}}{t_{\text{всп}}} = 1$	Удельная начальная температура ГЖ
$[\pi_2] = \frac{S_{\text{оч}} \cdot v_{\text{теп}}}{Q_{\text{гор}} \cdot I_{\text{пор}}} = 1$	Удельное тепловыделение ЭОП
$[\pi_3] = \frac{C_{\text{пор}} \cdot v_{\text{теп}}}{Q_{\text{гор}}^2 \cdot I_{\text{пор}}^2} = 1$	Удельный расход порошка
$[\pi_4] = \frac{v_{\text{выг}} \cdot Q_{\text{гор}}^2 \cdot I_{\text{пор}}}{v_{\text{теп}}^2} = 1$	Удельная интенсивность подачи порошка

На основании физического смысла показателей и исходя из необходимости их улучшения выведен обобщённый комплекс, характеризующий огнетушащую эффективность взаимодействия ГЖ и ОТВ:

$$\pi_{\text{ОЭ}} = \frac{\pi_3 \cdot \pi_4}{\pi_1 \cdot \pi_2};$$

$$\pi_{\text{ОЭ}} = \frac{C_{\text{пор}} \cdot v_{\text{выг}} \cdot t_{\text{всп}} \cdot Q_{\text{гор}}}{v_{\text{теп}}^2 \cdot t_{\text{нач}} \cdot S_{\text{оч}}}. \quad (5)$$

Комплексный показатель входит в методику оценки влияния дисперсного состава огнетушащего порошка на эффективность тушения горящих нефтепродуктов, которая предложена в качестве факультативной в дополнение к порядку, установленному ГОСТ Р 51057–2001 «Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний», в целях повышения точности оценки.

При использовании в качестве горючего веществ, отличных от растворителя 646, следует использовать комплексный показатель  $\pi_{\text{ОЭ}}$ , рассчитанный по формуле (5). Приоритетными следует считать результаты тушения тех ЭОП, для которых показатель  $\pi_{\text{ОЭ}}$  будет больше, как наиболее опасных.

## Выводы

Разработано устройство для натурального моделирования пожара нефтепродуктов, позволяющее определять огнетушащий эффект порошкового состава в контрольных точках плоскости поперечного сечения нестационарного газопорошкового потока. Предложен алгоритм огневых испытаний с использованием разработанного устройства и растворителя 646 в качестве горючего для экспериментальных очагов пожара, повышающий точность оценки огнетушащего эффекта порошка.

Синтезирован комплексный показатель  $\pi_{0Э}$  оценки взаимодействия горящих нефтепродуктов и ОТВ, включающий в себя безразмерные относительные показатели пожарной опасности жидкости и характеристик подачи порошка. Комплексный показатель позволяет оценить опасность экспериментального очага пожара при использовании ГЖ, отличной от растворителя 646. При испытаниях следует считать приоритетными результаты тушения очагов, для которых показатель  $\pi_{0Э}$  будет больше, как наиболее опасных.

## Список источников

1. О техническом регулировании: Федер. закон Рос. Федерации от 27 дек. 2002 г. № 184-ФЗ (в ред. от 2 июля 2021 г.). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (в ред. от 30. апр. 2021 г.). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
3. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 20.06.2022).
4. ГОСТ Р 51105–97. Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин. Технические условия // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 20.06.2022).
5. Константинова А.С. О повышении точности огневых испытаний огнетушителей на основе оценки влияния дисперсного состава порошка на огнетушащий эффект // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 4 (60). С. 156–161.
6. Константинова А.С., Поляков А.С. О выборе продуктов нефтепереработки для системы экспериментальных очагов пожара при определении огнетушащей эффективности порошковых составов // Нефтепереработка и нефтехимия. 2021. № 7. С. 41–46.
7. Fire-Extinguishing Efficiency of Superfine Powders under Different Injection Pressures / G. Zhao [et al.] // International Journal of Chemical Engineering. 2019. 7 p.
8. Huang D., Wang X., Yang J. Influence of Particle Size and Heating Rate on Decomposition of BC Dry Chemical Fire Extinguishing Powders // Particulate Science and Technology. 2015. Vol. 33. Iss. 5. P. 488–493.
9. Study on the relationship between the particle size distribution and the effectiveness of the K-powder fire extinguishing agent / Y. Yan [et al.] // Fire and Materials. 2018. Vol. 42. Iss. 3. P. 336–344.
10. Lee E., Choi Y. Effects of Particle Size of Dry Water on Fire Extinguishing Performance // Journal of the Korean Society of Safety. 2019. Vol. 34. Iss. 3. P. 28–35.
11. Fire Extinguishing Efficiency of Magnesium Hydroxide Powders under Different Particle Size / H. Liu [et al.] // Procedia Engineering. 2018. Vol. 211. P. 447–455.
12. Mićović A., Mlađan D., Brkljač N. Fire extinguisher conformity assessment – a case study // Archibald Reiss days: Thematic conference proceedings of international significance. Belgrad: University of Criminal Investigation and Police Studies. 2021. P. 575–587.

13. SRPS Z.C2.035 – Ручни апарати за гашење прахом – Правилник о техничким и другим захтевима за ручне и превозне апарате за гашење пожара // Службени гласник РС. 2009. № 74.

14. Polyakov A.S., Kozhevin D.F., Konstantinova A.S. Regularities of dry chemical powder particles mass distribution in cross sections of a non-stationary gas stream // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration – Reports in English. Part 2: materials of the International Conference. Beijing, PRC, 2019. P. 163–173.

15. Константинова А.С., Кожевин Д.Ф., Поляков А.С. Система экспериментальных очагов пожара: пат. RU 2749639 С1 Рос. Федерация. № 2020130295; заявл. 14.09.20; опубл. 16.06.2021, Бюл. № 17.

16. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. / А.Н. Баратов [и др.]. М.: Химия, 1990. Кн. 2. 384 с.

## References

1. О техничском регулировании: Feder. zakon Ros. Federacii ot 27 dek. 2002 g. № 184-FZ (v red. ot 2 iyulya 2021 g.). Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».

2. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon Ros. Federacii ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ (v red. ot 30. apr. 2021 g.). Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».

3. GOST R 51057–2001. Tekhnika pozharnaya. Ognetchiteli perenosnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 20.06.2022).

4. GOST R 51105–97. Topliva dlya dvigatelej vnutrennego sgoraniya. Neetilirovannyj benzin. Tekhnicheskie usloviya // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 20.06.2022).

5. Konstantinova A.S. O povyshenii tochnosti ognevih ispytaniy ognetchitelej na osnove ocenki vliyanija dispersnogo sostava poroshka na ognetchashchij efekt // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 4 (60). S. 156–161.

6. Konstantinova A.S., Polyakov A.S. O vybore produktov neftepererabotki dlya sistemy eksperimental'nyh ochagov pozhara pri opredelenii ognetchashchej effektivnosti poroshkovyh sostavov // Neftepererabotka i neftekhimiya. 2021. № 7. S. 41–46.

7. Fire-Extinguishing Efficiency of Superfine Powders under Different Injection Pressures / G. Zhao [et al.] // International Journal of Chemical Engineering. 2019. 7 p.

8. Huang D., Wang X., Yang J. Influence of Particle Size and Heating Rate on Decomposition of BC Dry Chemical Fire Extinguishing Powders // Particulate Science and Technology. 2015. Vol. 33. Iss. 5. R. 488–493.

9. Study on the relationship between the particle size distribution and the effectiveness of the K-powder fire extinguishing agent / Y. Yan [et al.] // Fire and Materials. 2018. Vol. 42. Iss. 3. P. 336–344.

10. Lee E., Choi Y. Effects of Particle Size of Dry Water on Fire Extinguishing Performance // Journal of the Korean Society of Safety. 2019. Vol. 34. Iss. 3. P. 28–35.

11. Fire Extinguishing Efficiency of Magnesium Hydroxide Powders under Different Particle Size / H. Liu [et al.] // Procedia Engineering. 2018. Vol. 211. P. 447–455.

12. Mićović A., Mlađan D., Brkljač N. Fire extinguisher conformity assessment – a case study // Archibald Reiss days: Thematic conference proceedings of international significance. Belgrad: University of Criminal Investigation and Police Studies. 2021. P. 575–587.

13. SRPS Z.C2.035 – Ручни апарати за гашење прахом – Правилник о техничким и другим захтевима за ручне и превозне апарате за гашење пожара // Службени гласник РС. 2009. № 74.

14. Polyakov A.S., Kozhevin D.F., Konstantinova A.S. Regularities of dry chemical powder particles mass distribution in cross sections of a non-stationary gas stream // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration – Reports in English. Part 2: materials of the International Conference. Beijing, PRC, 2019. P. 163–173.

15. Konstantinova A.S., Kozhevin D.F., Polyakov A.S. Sistema eksperimental'nyh ochagov pozhara: pat. RU 2749639 C1 Ros. Federaciya. № 2020130295; zayavl. 14.09.20; opubl. 16.06.2021, Byul. № 17.

16. Pozharovzryvobezопасnost' veshchestv i materialov i sredstva ih tusheniya: sprav. / A.N. Baratov [i dr.]. М.: Химиya, 1990. Кн. 2. 384 s.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 30.05.2022; одобрена после рецензирования: 10.06.2022; принята к публикации: 08.07.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 30.05.2022; approved after review: 10.06.2022; accepted for publication: 08.07.2022

*Сведения об авторах:*

**Алина Станиславовна Константинова**, преподаватель кафедры надзорной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ak090695@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2893-9058>

*Information about the authors:*

**Alina S. Konstantinova**, lecturer of the department of supervisory activities of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: ak090695@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2893-9058>

УДК 504.064

## РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ В АНАЛИЗЕ РАВНОВЕСНОГО ПАРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Надежда Сергеевна Пустовалова✉.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉[nadezhda.05.96@mail.ru](mailto:nadezhda.05.96@mail.ru)

*Аннотация.* На сегодняшний день нефтяная отрасль интенсивно развивается, чему свидетельствует постоянный прирост баз и производств. Это приводит к неизбежному росту рисков возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций техногенного характера, последствия которых оказывают влияние на экосистему (флору и фауну). Компоненты веществ нефтяной отрасли обладают способностью к миграции (быстрому распространению на большую площадь), что усложняет задачу ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Поэтому прогнозирование скорости распространения опасных веществ и минимизация их негативного влияния на ранней стадии возникновения аварии имеет первостепенное значение. Рассматривается вопрос обнаружения, идентификации и оценки миграционной способности компонентов веществ нефтяной отрасли в зависимости от их физико-химических параметров, методом парофазного анализа. Данные получены с помощью серии экспериментов на сконструированной установке многостадийного парофазного анализа с применением разработанной методики.

*Ключевые слова:* нефтегазовая отрасль, чрезвычайные ситуации техногенного характера, почва, бензин, парофазный анализ, регрессионная модель, зависимость

**Для цитирования:** Пустовалова Н.С. Регрессионная модель перераспределения компонентов нефтепродуктов в анализе равновесного пара в зависимости от их физико-химических свойств // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 188–195.

## REGRESSION MODEL OF REDISTRIBUTION OF OIL PRODUCT COMPONENTS IN THE ANALYSIS OF EQUILIBRIUM VAPOR DEPENDING ON THEIR PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Nadezhda S. Pustovalova✉.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉[nadezhda.05.96@mail.ru](mailto:nadezhda.05.96@mail.ru)

*Abstract.* Today, the oil industry is developing intensively, as evidenced by the constant growth of bases and production facilities. This leads to an inevitable increase in the risks of accidents and emergencies of a technogenic nature, the consequences of which have an impact on the ecosystem (flora and fauna). The components of oil industry substances have the ability to migrate (spread rapidly over a large area), which complicates the task of eliminating the consequences of emergencies. Therefore, predicting the rate of spread of hazardous substances and minimizing their negative impact at an early stage of an accident is of paramount importance. The issue of detection, identification, and evaluation of the migration ability of the components of oil substances depending on their physical and chemical parameters, by the method of vapor-phase analysis is considered. The data were obtained through a series of experiments on a constructed unit of multistage vapor phase analysis using the developed methodology.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

*Keywords:* oil and gas industry, man-made emergencies, soil, gasoline, vapor phase analysis, regression model, dependence

**For citation:** Pustovalova N.S. Regression model of redistribution of components of petroleum products in the analysis of equilibrium vapor depending on their physico-chemical properties // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Peterb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 188–195.

## Введение

Вещества, обращающиеся в добыче и переработке нефтегазовой отрасли, крайне опасны и при утечке в окружающую среду приводят к различным негативным последствиям. Нефть и некоторые ее компоненты крайне токсичны, при контакте с живыми существами вызывают отравление, в том числе у людей. Влияние на здоровье людей разное, в частности, увеличение заболеваний раковыми болезнями и наследственного уродства. В больших концентрациях углеводороды могут вызвать паралич дыхательных центров первой степени и практически мгновенную смерть [1–3].

Только в России ежегодно происходит около 10 000 аварий, особенно при транспортировке нефти по нефтепроводам, поэтому важно своевременно и точно определить степень загрязнения, для предотвращения последствий. Сейчас используются разные подходы изучения летучих веществ в сопредельных средах, наиболее актуальный метод – парофазный анализ, а именно многостадийный парофазный анализ [4, 5].

Цель исследования состояла в изучении методом анализа равновесного пара количественных значений коэффициента распределения между сопредельными средами (почва-воздух) компонентов бензина АИ-95.

## Методы исследования

Для исследования была применена установка парофазного анализа, работа которой заключается в циркуляции паровоздушной смеси с помощью компрессора в замкнутом контуре, проходящем через инфракрасный Фурье-спектрометр Инфралюм ФТ-02 и сменную ловушку с сорбентом для сбора веществ, находящихся в паровой фазе для дальнейшего их изучения с помощью газожидкостной хроматографии на хроматографе Хроматек-Кристалл 5000.1 [6–8].

Объектом исследования была суглинистая, предварительно высушенная и просеянная через сито почва (с размером ячейки 0,25 мм), в которую добавляли бензин АИ-95 в объеме 10 мкл.

При проведении исследования изначально не учитывалось, какая доля компонентов нефтепродуктов находится в почве, в почвенном растворе (в растворенном виде), а какая в газовой фазе сорбирована на твердых частицах почвы. На основе полученных экспериментальных данных рассчитан суммарный коэффициент распределения:

$$K_{G/(S-L)} = C_G / (C_S + C_L),$$

где  $K_{G/(S-L)}$  – коэффициент распределения компонентов между газовой (паровой) фазой и почвой;  $C_G$  – концентрация компонента в газовой (паровой) фазе;  $C_S$  – концентрация компонента в твердой фазе почвы;  $C_L$  – концентрация компонента в жидкой фазе почвы.

Результаты исследования позволили получить регрессионные зависимости рассчитанных коэффициентов от физико-химических свойств компонентов бензина АИ-95, представленных в табл. 1. В качестве физико-химических свойств были выбраны: давление насыщенного пара, температура кипения и молярная масса. Выбор этих параметров обоснован тем, что они наиболее значимо характеризуют вещества [9, 10].



Таблица 1. Компоненты бензина АИ-95, по которым проводился расчет коэффициентов распределения по результатам парофазного анализа

Компоненты бензина АИ-95			
$C_5H_{12}$	н-пен(пентан)	$C_8H_{18}$	2 метилгептан
$C_6H_{14}$	2-метилпентан	$C_8H_{18}$	3 метилгептан
$C_6H_{14}$	3-метилпентан	$C_8H_{18}$	н-октан
$C_6H_{14}$	н-гексан	$C_8H_{10}$	этилбензол
$C_6H_{14}$	метилциклопентан	$C_8H_{10}$	п-ксилол
$C_6H_6$	бензол	$C_9H_{20}$	2-мокт
$C_6H_{14}$	циклогексан	$C_9H_{20}$	3-мокт
$C_7H_{16}$	2-метилгексан	$C_8H_{10}$	о-ксилол
$C_7H_{16}$	3-метилгексан	$C_9H_{20}$	нонан
$C_8H_{18}$	2,2,4-триметилпентан	$C_9H_{12}$	н-прлбенз
$C_7H_{16}$	н-гептан	$C_9H_{12}$	1-метил-3-этилбензол (m-этилтолуол)
$C_7H_{14}$	метилциклогексан	$C_9H_{12}$	1-м-4-эбенз (п-этилтолуол)
$C_8H_{18}$	2,2-диметилгексан	$C_9H_{12}$	1-м-2-эбенз (0-этилтолуол)
$C_8H_{18}$	2,4-диметилгексан	$C_9H_{12}$	1,3,5-триметилбензол
$C_8H_{18}$	2,2,3-триметилпентан	$C_9H_{12}$	1,2,4-триметилбензол
$C_7H_8$	толуол	$C_9H_{22}$	н-декан

### Результаты исследования и их обсуждение

Многостадийный парофазный анализ проводился с последующим нагреванием температуры от 25 °С до 50 °С. На всех регрессионных зависимостях наблюдалось уменьшение значения коэффициента при увеличении температуры, независимо от рассматриваемого физико-химического свойства, соответственно, все выбранные параметры могут использоваться для оценки перераспределения.

Регрессионные зависимости коэффициента распределения – пар/жидкость ( $K_{G/L}$ ) (при температурах 25 °С и 50 °С) от давления насыщенных паров компонентов бензина АИ-95 представлены в виде уравнений:

$$K_{G/L} = 19,7 - 20,1 \exp(-0,026P_{\text{нас}}),$$

достоверность аппроксимации  $R^2 = 0,98$ ;

$$K_{G/L} = 0,033P_{\text{нас}} + 0,28,$$

достоверность аппроксимации  $R^2 = 0,94$ .

С увеличением температуры вид зависимости коэффициента распределения от давления насыщенных паров изменяется. Данная картина наблюдается только для этого параметра. При 25 °С зависимость носит линейный характер, при увеличении температуры до 50 °С – экспоненциальный (рис. 1, 2).

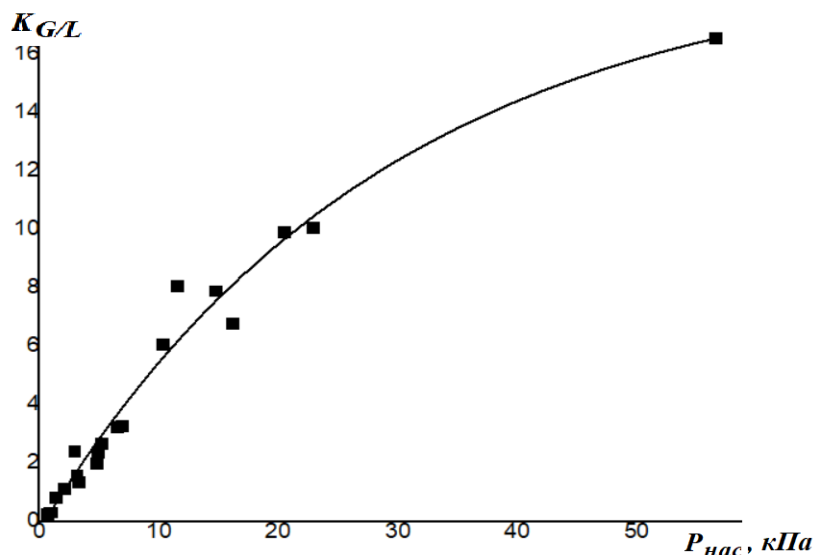


Рис. 1. Регрессионная зависимость коэффициента распределения – пар/жидкость в анализе равновесного пара при температуре 25 °С от давления насыщенных паров компонентов бензина АИ-95

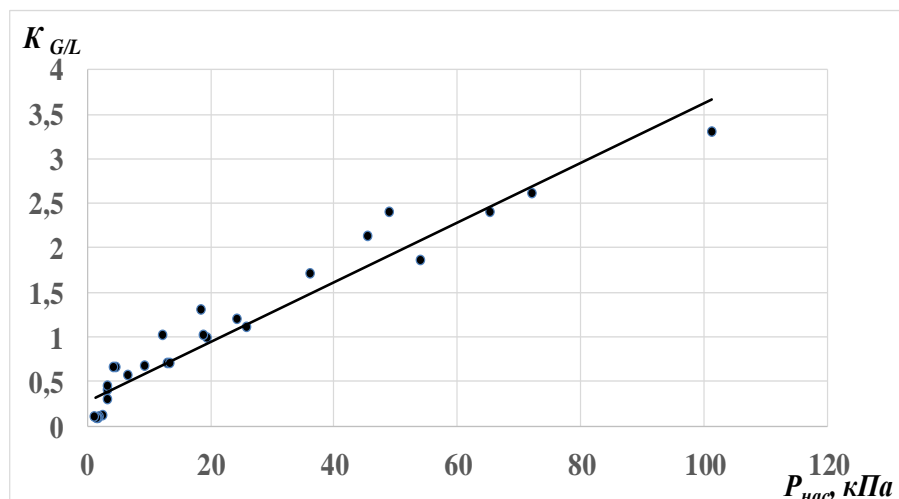


Рис. 2. Регрессионная зависимость коэффициента распределения – пар/жидкость в анализе равновесного пара при температуре 50 °С от давления насыщенных паров компонентов бензина АИ-95

При оценке зависимости коэффициента распределения  $K_{G/L}$  от температуры кипения ( $t^\circ$  кип.) выбранных компонентов бензина (при температурах 25 °С и 50 °С) характер зависимостей – экспоненциальный (рис. 3, 4). Уравнения зависимостей приведены ниже:

$$K_{G/L} = -2,3 + 40,6\exp(-0,02t_{\text{кип}}),$$

при достоверности аппроксимации  $R^2=0,96$ ;

$$K_{G/L} = -0,78 + 6,7\exp(-0,002t_{\text{кип}}),$$

при достоверности аппроксимации  $R^2=0,95$ .

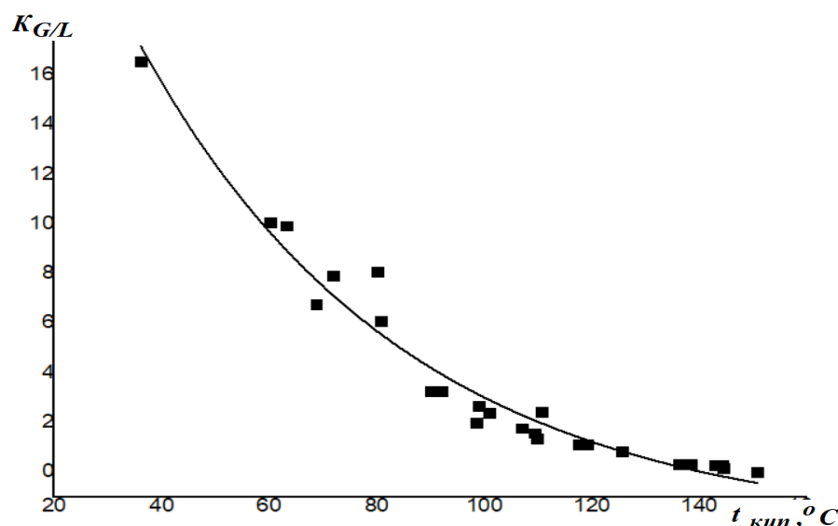


Рис. 3. Регрессионная зависимость коэффициента распределения – пар/жидкость в анализе равновесного пара при температуре 25 °С от  $t^{\circ}$  кип. компонентов бензина АИ-95

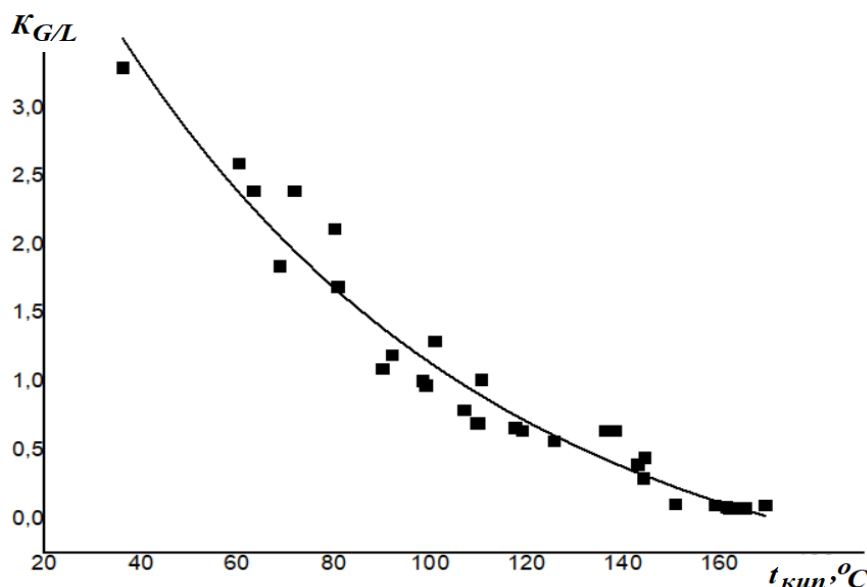


Рис. 4. Регрессионная зависимость коэффициента распределения – пар/жидкость в анализе равновесного пара при температуре 50 °С от  $t^{\circ}$  кип. компонентов бензина АИ-95

В данном случае, так же как и при построении зависимостей коэффициента перераспределения от давления насыщенных паров, наблюдается изменение вида зависимости: при 25 °С – зависимость экспоненциальная (1), а при 50 °С – линейная (2) (рис. 5, 6). Регрессионные зависимости коэффициента распределения от молекулярной массы углеводородных компонентов бензина характеризуются наименьшими значениями достоверности аппроксимации, для них он не достигает значения 0,90, что не позволяет говорить о достоверности получаемых с их помощью расчетных значений:

$$K_{G/L} = -0,39 + 1110 \exp(-0,058t_{\text{кип}}), \quad (1)$$

при достоверности аппроксимации  $R^2=0,86$ ;

$$K_{G/L} = 0,050M + 6,29, \quad (2)$$

при достоверности аппроксимации  $R^2=0,84$ .

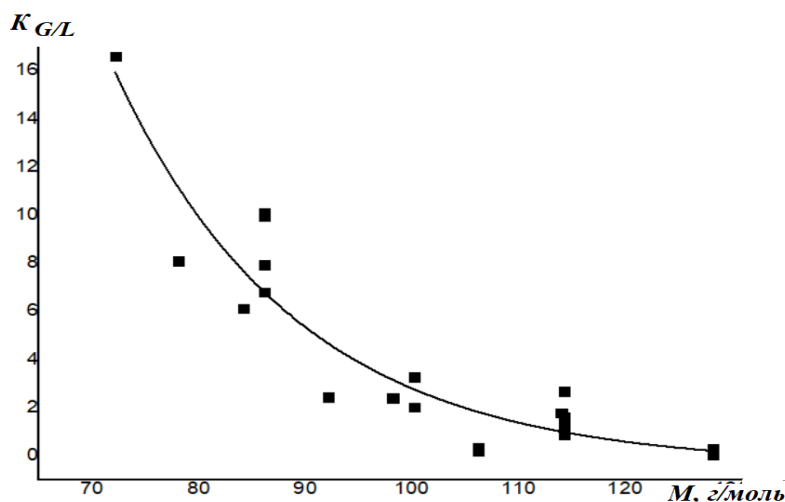


Рис. 5. Регрессионная зависимость коэффициента распределения – пар/жидкость в анализе равновесного пара при температуре 25 °С от молярной массы компонентов бензина АИ-95

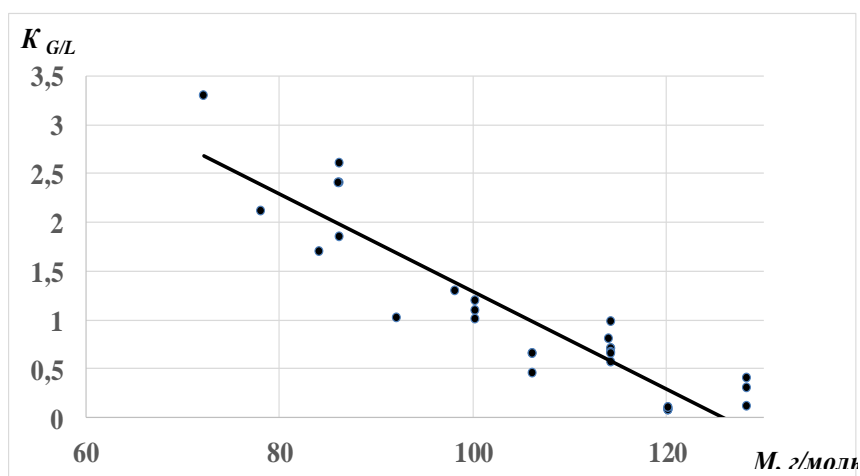


Рис. 6. Регрессионная зависимость коэффициента распределения – пар/жидкость в анализе равновесного пара при температуре 50 °С от давления насыщенных паров компонентов бензина АИ-95

### Заключение

Полученные зависимости коэффициента распределения – пар/жидкость в анализе равновесного пара от выбранных в работе параметров позволяют оценить миграционные особенности отдельных компонентов нефти и нефтепродуктов, а следовательно, и степень потенциального загрязнения грунтовых вод, площади поражения растений, в том числе на сельскохозяйственных территориях при наличии таких вблизи места аварии, а в последствии – потенциальное отравление животных. Применение полученных результатов может найти применение при выборе стратегии предотвращения последствий аварий и ЧС техногенного характера, указанных ранее.

**Список источников**

1. Галишев М.А., Бельшина Ю.Н., Фаргиев М.А. Регрессионная модель перераспределения нефтяного загрязнения между гранулометрическими фракциями почвы // Науч.-аналит. жур. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2015. № 2. С. 57–64.
2. Красильников А.В., Бельшина Ю.Н., Крутолапов А.С. Методика парофазного анализа горючих жидкостей при исследовании аварийных пожароопасных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 3 (47). С. 13–19.
3. Красильников А.В., Бельшина Ю.Н., Ловчиков В.А. Регрессионная модель изменения состава горючих жидкостей в зависимости от условий парофазного анализа // Техносферная безопасность. 2018. № 3. С. 52–58.
4. Султыгов М.М., Галишев М.А., Бельшина Ю.Н. Экспериментальная модель развития чрезвычайных ситуаций нефтяного загрязнения в почвах // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Современные методы и технологии предупреждения и профилактики возникновения чрезвычайных ситуаций. 2019. С. 311–312.
5. Бельшина Ю.Н., Галишев М.А., Ильюшина К.А. Экспериментальное определение горючести системы «почва-нефтепродукты» // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 2. С. 98–106.
6. Галишев М.А., Красильников А.В., Решетов А.А. Исследование летучих компонентов нефтепродуктов на объектах нефтегазового комплекса методом анализа равновесного пара // Науч.-аналит. жур. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 2. С. 49–56.
7. Oil spill problems and sustainable response strategies through new technologies / I.B. Ivshina [et al.] // Environmental Science: Processes & Impacts. 2015. Т. 17. № 7. С. 1201–1219.
8. Thapa B., Kc A.K., Ghimire A. A review on bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminants in soil // Kathmandu university journal of science, engineering and technology. 2012. Т. 8. № 1. С. 164–170.
9. Response of salt marshes to oiling from the Deepwater Horizon spill: Implications for plant growth, soil surface-erosion, and shoreline stability / Q. Lin [et al.] // Science of the Total Environment. 2016. Т. 557. С. 369–377.
10. Henry J.A. Composition and toxicity of petroleum products and their additives // Human & experimental toxicology. 1998. Т. 17. № 2. С. 111–123.

**References**

1. Galishev M.A., Bel'shina Yu.N., Fargiev M.A. Regressionnaya model' pereraspredeleniya neftyanogo zagryazneniya mezhdru granulometricheskimi frakcijami pochvy // Nauch.-analit. zhur. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2015. № 2. S. 57–64.
2. Krasil'nikov A.V., Bel'shina Yu.N., Krutolapov A.S. Metodika parofaznogo analiza goryuchih zhidkostej pri issledovanii avarijnyh pozharoopasnyh situacij na ob'ektah neftegazovogo kompleksa // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2018. № 3 (47). S. 13–19.
3. Krasil'nikov A.V., Bel'shina Yu.N., Lovchikov V.A. Regressionnaya model' izmeneniya sostava goryuchih zhidkostej v zavisimosti ot uslovij parofaznogo analiza // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2018. № 3. S. 52–58.
4. Sultygov M.M., Galishev M.A., Bel'shina Yu.N. Eksperimental'naya model' razvitiya chrezvychajnyh situacij neftyanogo zagryazneniya v pochvah // Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy. Sovremennye metody i tekhnologii preduprezhdeniya i profilaktiki vozniknoveniya chrezvychajnyh situacij. 2019. S. 311–312.
5. Bel'shina Yu.N., Galishev M.A., Il'yushina K.A. Eksperimental'noe opredelenie goryuchesti sistemy «pochva-nefteprodukty» // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2017. № 2. S. 98–106.

6. Galishev M.A., Krasil'nikov A.V., Reshetov A.A. Issledovanie letuchih komponentov nefteproduktov na ob"ektah neftegazovogo kompleksa metodom analiza ravnovesnogo para // Nauch.-analit. zhur. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2017. № 2. S. 49–56.

7. Oil spill problems and sustainable response strategies through new technologies / I.B. Ivshina [et al.] // Environmental Science: Processes & Impacts. 2015. T. 17. № 7. S. 1201–1219.

8. Thapa B., Kc A.K., Ghimire A. A review on bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminants in soil // Kathmandu university journal of science, engineering and technology. 2012. T. 8. № 1. S. 164–170.

9. Response of salt marshes to oiling from the Deepwater Horizon spill: Implications for plant growth, soil surface-erosion and shoreline stability / Q. Lin [et al.] // Science of the Total Environment. 2016. T. 557. S. 369–377.

10. Henry J.A. Composition and toxicity of petroleum products and their additives // Human & experimental toxicology. 1998. T. 17. № 2. S. 111–123.

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 07.06.2022; одобрена после рецензирования: 08.07.2022; принята к публикации: 11.07.2022

#### **The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 07.06.2022; approved after review: 08.07.2022; accepted for publication: 11.07.2022

#### *Информация об авторах:*

**Надежда Сергеевна Пустовалова**, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: nadezhda.05.96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4903-2516>

#### *Information about the authors:*

**Nadezhda S. Pustovalova**, adjunct of the faculty of training of highly qualified personnel of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: nadezhda.05.96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4903-2516>

УДК 004.658

## ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ОБОСНОВАННОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ИНТЕГРАЦИИ БАЗ ДАННЫХ СОСТОЯНИЯ ГЛОБАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ОТ АЛЬТЕРНАТИВНОГО

**Вадим Вячеславович Ефимов**<sup>✉</sup>.**ООО «Сберобразование», Москва, Россия**<sup>✉</sup>[2vadim@inbox.ru](mailto:2vadim@inbox.ru)

*Аннотация.* Статья продолжает авторскую серию об инновации в сфере «облачных» информационных систем, исследуя способы повышения эффективности их обслуживания. В данной работе доказываем обоснованность ранее задекларированных организационно-технических принципов, лежащих в основе нового подхода к получению обобщенного состояния «облачного» сервиса. Производится серия мысленных экспериментов, сравнивая инновационные принципы с альтернативными (традиционными), показывая их преимущества, релевантность и допустимость, а также взаимную непротиворечивость. Для этого принципы переформулированы в нотации соответствующих гипотез о влиянии их на соответствующие показатели эффективности решения задач интеграции, в качестве которых обоснованы: рост времени обнаружения сбоя и оповещения о нем, невозможность обеспечения требуемого (низкого) времени его устранения, рост стоимости (трудоемкости и/или ресурсоемкости) эксплуатации. Делается предположение о влиянии организационно-технических принципов интеграции баз данных состояния глобально распределенной информационной системы на организационную структуру службы ее эксплуатации.

*Ключевые слова:* принципы интеграции данных, доказательство обоснованности, метод от альтернативного, глобально-распределенные информационные системы, непротиворечивость

**Для цитирования:** Ефимов В.В. Доказательство обоснованности организационно-технических принципов интеграции баз данных состояния глобально распределенной информационной системы методом от альтернативного // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 196–205.

## PRINCIPLES OF GLOBALLY DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEM STATE DATABASES INTEGRATION – VALIDITY PROOF BY METHOD FROM ALTERNATIVE

**Vadim V. Efimov**<sup>✉</sup>**ООО «Sberobrazovanie», Moscow, Russia**<sup>✉</sup>[2vadim@inbox.ru](mailto:2vadim@inbox.ru)

*Abstract.* The article continues the author's series on innovation in the field of cloud information systems, exploring ways to improve the efficiency of their service. This paper proves the validity of the previously declared organizational and technical principles underlying the new approach to obtaining a generalized state of the «cloud» service. A series of mental experiments are performed, comparing the innovative principles with alternative (traditional) principles, showing their advantages, relevance and admissibility, as well as mutual consistency. For this purpose, the principles are reformulated in the notation of the corresponding hypotheses about their influence

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

on the corresponding indicators of efficiency of integration tasks solution, as the following are justified: growth of failure detection and notification time, impossibility to provide the required (low) time of its elimination, growth of operation cost (labor intensity and/or resource intensity). An assumption is made about the influence of organizational and technical principles of integration of databases of the state of a globally distributed information system on the organizational structure of its operation service.

*Keywords:* data integration principles, validity proof, method from alternative, globally distributed information system, consistency

**For citation:** Efivov V.V. Principles of globally distributed information system state databases integration – validity proof by method from alternative // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 3. P. 196–205.

## Введение

Современный ландшафт информационных услуг все больше смещается в сторону так называемых «облачных» сервисов. Согласно недавнему исследованию аналитической компании DataInsight [1] среднегодовой темп роста инвестиций в рынок онлайн-образования в 2019–2021 гг. составил 149 %, и примером здесь может быть недавнее представление [2] нового сервиса Edutoria.ru от компании Сбер. Также рынок eCommerce (маркетплейсы Ozon, Wildberries, СберМегаМаркет и пр.) [3] показывает рост продаж в 2021 г. на 52 %. Несмотря на недружественные действия ряда стран по экономическим ограничениям в отношении Российской Федерации, которые приостановили тенденцию на глобализацию «облачных» сервисов, они по-прежнему реализованы на основе технологии глобально распределенной информационной системы (ГРИС), состоящей из большого количества вычислительных ресурсов, расположенных в разных центрах обработки данных, объединенных в единую систему и управляемых комплексом программного обеспечения. Такая ГРИС требует особых подходов эксплуатации, в частности в сборе и анализе данных о ее состоянии.

В работе [4] в соавторстве с профессором М.В. Буйневичем были декларированы инновационные организационно-технические принципы (ОТП) интеграции баз данных, которые в отличие (VS) от «традиционных» (устоявшихся) [5] специфицированы под (состояние) ГРИС в интересах службы ее эксплуатации, а именно: ОТП-1 – универсальность VS «позадачность» интеграционной модели; ОТП-2 – персонализированность VS анонимность обращения к источникам данных; ОТП-3 – доступность и максимальная актуальность VS полнота информации состояния; ОТП-4 – сохранность и неизменность VS модификация исходных данных при интеграции.

В работе [4] было показано, что доказательство их эффективности (в смысле целесообразности применения) лежит в плоскости экспериментального сравнения на моделях с альтернативными (устоявшимися) принципами по критериям повышения уровня доступности сервиса и снижении стоимости (трудоемкости и ресурсоемкости) эксплуатации при достаточно большом количестве операций.

Однако в отсутствие соответствующих (аналитических, имитационных, полунатурных, etc.) моделей возможно доказательство их обоснованности, в смысле целесообразности (применения) в практике службы эксплуатации ГРИС, подкрепляемое вескими доводами в пользу их применения взамен «традиционным» принципам.

В качестве способа доказательства обоснованности воспользуемся модификацией метода «от противного»<sup>1</sup>. Выбор метода обусловлен тем, что почти каждый из инновационных принципов (за исключением ОТП-3) по отношению к «традиционным» является представителем некой категориальной пары: ОТП-1 – универсальный VS специфичный; ОТП-2 – персонализированный VS анонимный, ОТП-4 – сохраненный VS

<sup>1</sup> Заключается в выборе антагониста (*от др.-греч. ἀνταγωνιστής* – противник, нечто, действующее противоположным образом) или антитезиса с его последующим опровержением.



изменчивый, – то есть имеет антагониста. ОТП-3 не имеет «работоспособного» антагониста, так как **НЕ**доступность и **НЕ**актуальность исходных данных явно противоречит самой идее их интеграции. В этом случае имеет смысл говорить скорее о его альтернативе (либо доступность и максимальная актуальность, либо полнота информации состояния), нежели об антиподе, и обобщить этот прием на все остальные случаи. Тогда модификация метода будет состоять в том, что опровержение, канонически заключающееся в установлении факта несовместимости антитезиса с заранее истинным, будет выглядеть следующим образом: берется альтернатива (в качестве антитезиса) инновационному ОТП и в результате причинно-следственного анализа доказывается ее негативное влияние на показатель/показатели эффективности (ПЭ) – рост времени обнаружения сбоя (ПЭ-1=↑) и/или рост времени оповещения о сбое (ПЭ-2=↑) и/или невозможность обеспечения требуемого (низкого) времени устранения сбоя (ПЭ-3=↑) как факторы, влияющие на доступность сервиса [6] и/или рост стоимости (трудоемкости и/или ресурсоемкости) эксплуатации (ПЭ-4=↑).

Проведем гипотетический мысленный доказательный эксперимент, суть которого состоит в следующем.

Во-первых, переформулируем ОТП в нотации соответствующих гипотез по схеме: «инновационный принцип организации эксплуатационных баз данных → влияние на показатели эффективности решения задач их интеграции (прогнозируемый позитивный эффект) → альтернативный (традиционный, устоявшийся) принцип → влияние на показатели эффективности решения задач их интеграции (прогнозируемый негативный эффект)».

Во-вторых, докажем справедливость гипотез по схеме: «альтернативный (традиционный, устоявшийся) принцип → влияние на показатели эффективности решения задач их интеграции (прогнозируемый негативный эффект)», обнаружив, в том числе, свойства релевантности – *P* (представляет собой обязательное наличие связи данного принципа с предметной областью) и допустимости – *D* (организационно-технической реализуемости, правомерности etc) в качестве усиления приведенных доводов.

В-третьих, после доказательства обоснованности каждого из принципов установим их непротиворечивость (совместимость) для данной предметной области.

### Доказательство обоснованности принципов

*Гипотеза 1.* Использование универсальной интеграционной модели данных состояния ГРИС дает снижение трудоемкости эксплуатации по сравнению с созданием специфической модели для каждой задачи интеграции.

*Доказательство.* Модель – это объект, исследование которого дает информацию о другом (изучаемом) объекте, моделью которого он является. Модель может обладать свойством универсальности (возможность ее использования для решения ряда задач).

Рассмотрим альтернативный заявленному (традиционный) подход, при котором для каждой задачи интеграции данных разрабатывается специфическая модель. В этом случае потребуются разработка ряда моделей (для каждой задачи интеграции), которая, очевидно, является как минимум не менее трудоемкой задачей, чем разработка одной модели; & vv – разработка универсальной модели является как минимум не менее трудоемкой, чем разработка специфической модели. Это говорит о том, что ни заявленный, ни альтернативный подход не имеют очевидного преимущества по трудоемкости, то есть в конкретной ситуации менее трудоемкой может оказаться разработка как одной универсальной, так и ряда специфических моделей (рис. 1).

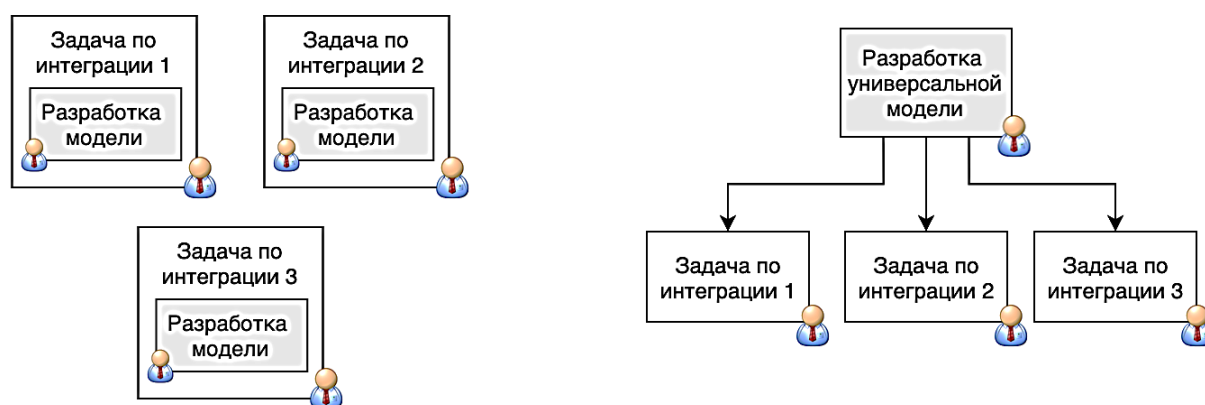


Рис. 1. Сравнение трудоемкости трех задач по интеграции данных при разработке одной универсальной модели (справа) и ряда специфических моделей (слева)

Однако важной особенностью службы эксплуатации является наличие цели по выполнению необходимого и на данный момент, как правило, достаточно большого и растущего количества операций, что связано с потребностями бизнеса, а также с высокой скоростью технических инноваций, которые требуют внедрения. Информационная система постоянно эволюционирует: добавляются новые сервисы, повышается их надежность и доступность ( $P$ ). С ростом количества операций эксплуатации (внесения изменений в ГРИС) и, соответственно, количества задач по интеграции данных, количество труда, затраченного на создание специфических моделей, неизбежно превзойдет количество труда, затраченного на создание одной универсальной модели ( $\text{ПЭ-4}=\uparrow$ ), что делает такой (альтернативный) подход бесперспективным.

Допустимость ( $D$ ) создания одной универсальной модели данных состояния ГРИС связана с универсализацией и стандартизацией практик эксплуатации ГРИС, которая неизменно происходит на протяжении последних 30–40 лет с момента появления первых стандартов в этой области (ITIL v1) и показана в статье [7].

*Гипотеза 2.* Персонализированность обращения к источникам данных от имени пользователя, запрашивающего обобщенное состояние ГРИС, позволяет повысить уровень доступности сервиса за счет уменьшения времени оповещения о сбое или снизить ресурсоемкость эксплуатации.

*Доказательство.* Данные состояния ГРИС – это, в частности, список серверов с их адресами в сети, что может считаться конфиденциальной информацией с точки зрения безопасности. Серверы взаимодействуют, обращаются друг к другу, в частности за персональными данными пользователя в процессе обработки его запроса. Ключи, которые используют такие сервера для аутентификации при обращении, также являются конфиденциальными, доступ к которым, как правило, ограничивается узким кругом инженеров службы эксплуатации. Однако другая часть данных о состоянии ГРИС, такая как показатели использованной памяти и ресурсов процессора, а также список внесенных недавно изменений в систему – информация, не являющаяся конфиденциальной внутри компании.

Обобщенное состояние ГРИС строится на основе данных, требующих разного уровня доступа ( $P$ ). Принцип персонализированности обращения к источникам данных состояния ГРИС позволяет строить обобщенное состояние на основе данных, доступ к которым изначально разрешен конкретному сотруднику компании.

Рассмотрим альтернативный подход – анонимное обращение к источникам данных, которое очевидно предполагает доступ ко всем данным, иначе запрещенные при таком обращении данные будут недоступны никому, что равносильно отсутствию этих данных.

Однако задача ограничения доступа к части данных сохраняется. Первый вариант решения – это проверка разрешения на доступ к данным при запросе обобщенного состояния ГРИС средствами ИС, его формирующей (рис. 2 слева).

Источник данных может не иметь механизма проверки прав доступа к данным, что означает такую же ресурсоемкость предоставления обобщенного состояния ГРИС пользователю, как и при персонализированном, так как проверка разрешений производится один раз – разница здесь лишь в том, когда она производится: при обращении к источнику данных либо при обращении за обобщенным состоянием.

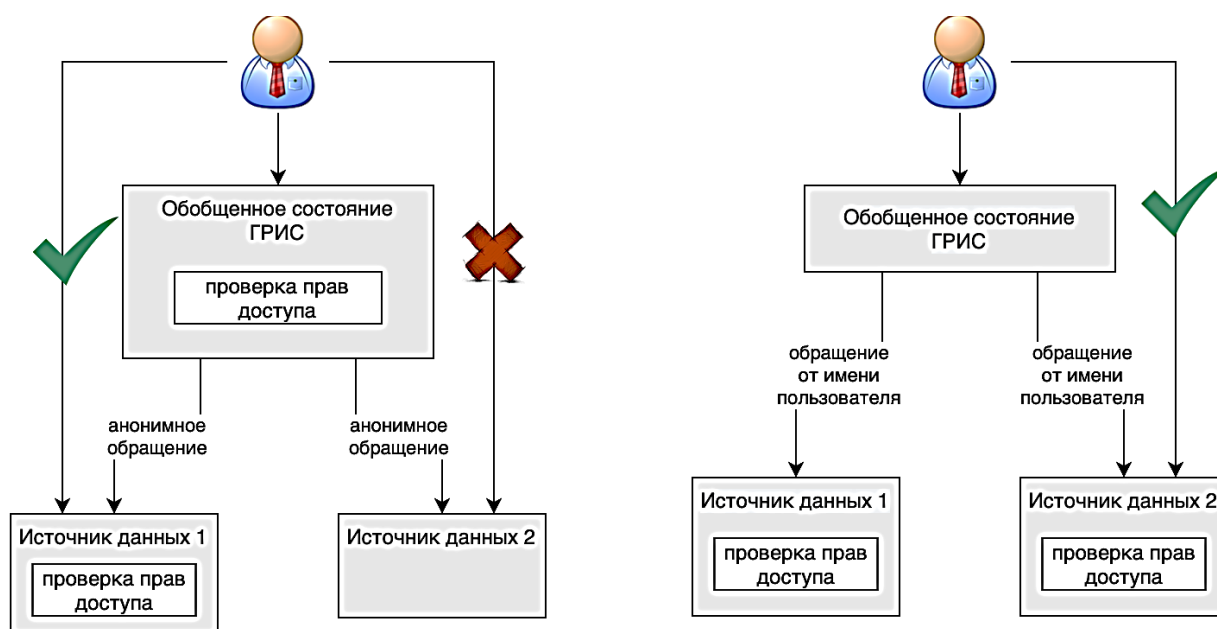


Рис. 2. Сравнение двух вариантов архитектуры ИС: при анонимном (слева) и персонализированном (справа) обращении к источникам данных

Однако ряд сценариев работы службы эксплуатации предполагает необходимость прямого обращения к источнику данных, например при диагностике сбоя. В этом случае источник реализует свой механизм проверки, который неизбежно будет задействован и при обращении к обобщенному состоянию ГРИС на этапе анонимного сбора данных, что увеличивает ресурсоемкость данной операции ( $ПЭ-4=\uparrow$ ), так как проверка прав доступа производится дважды.

Второй вариант решения задачи разграничения прав доступа при анонимном обращении к источникам данных для формирования обобщенного состояния ГРИС – это ограничение по принципу «все или ничего». Вместо проверки разрешений на доступ к части данных с предоставлением только разрешенных, производится проверка разрешения на доступ либо к источнику, либо к ИС, предоставляющей обобщенное состояние ГРИС в целом. Такая проверка менее ресурсоемка, однако количество инженеров, имеющих разрешение на доступ ко всем данным, меньше, чем количество инженеров, имеющих разрешение на доступ к части данных.

Это приводит к тому, что круг лиц, который мог бы участвовать в работах по устранению сбоя, например на этапе первичной диагностики, перед тем как привлечь необходимого специалиста, сужается. Чем меньше специалистов, которые могут реагировать на сообщение о сбое, тем сложнее организовывать круглосуточное дежурство, и больше рисков того, что дежурный инженер будет в данный момент недоступен, что увеличивает время оповещения о сбое ( $ПЭ-2=\uparrow$ ).

Одним из стандартов в сфере передачи данных, получивших широкое распространение в недавнее время, является Open ID Connect 1.0 [8] – стандарт, позволяющий делегировать обращение одной ИС к другой от имени пользователя. Его наличие и широкое практическое распространение показывает допустимость (Д) рассматриваемого принципа.

*Гипотеза 3.* Обеспечение доступной и максимально актуальной, хотя и не полной информации позволяет повысить уровень доступности сервиса за счет уменьшения времени обнаружения сбоя.

*Доказательство.* Природа данных состояния ГРИС такова, что они возникают асинхронно, независимо, однако относятся к одному и тому же объекту (Р). Предположим, что будем руководствоваться принципом полноты данных при формировании обобщенного состояния ГРИС. Рассмотрим ситуацию, когда состояние ГРИС резко изменилось, что характерно для сбоя. Для получения полных данных о новом состоянии ГРИС потребуется получить новые данные от всех источников, что займет больше времени, чем получение данных от части источников. К тому же часть источников может стать недоступна (рис. 3).

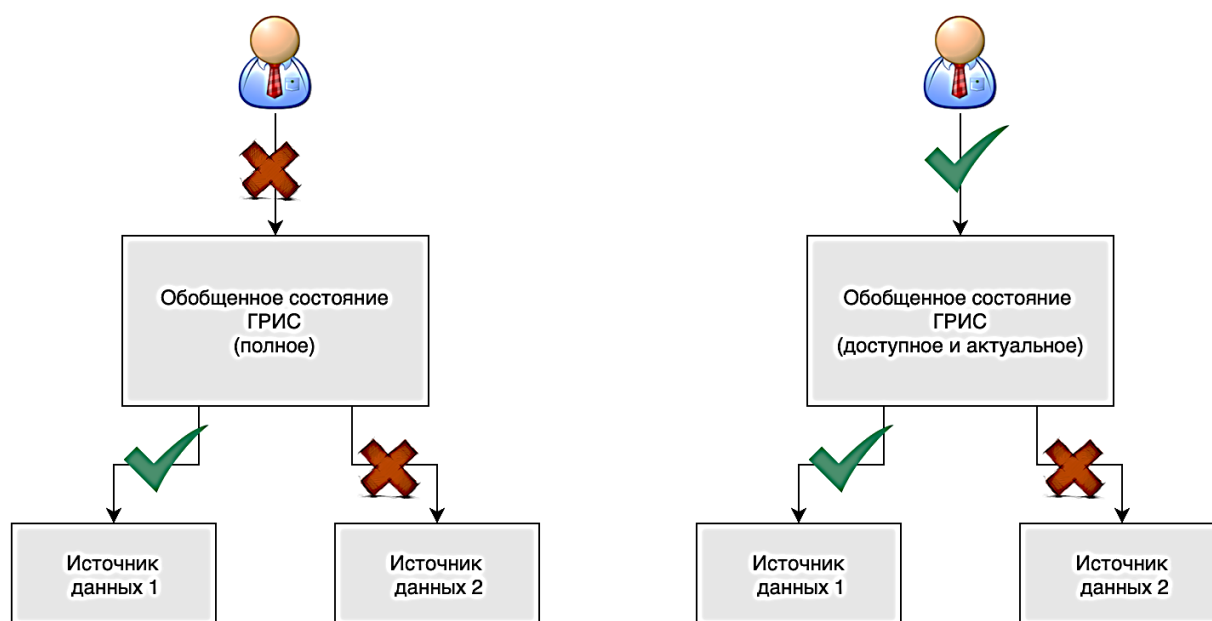


Рис. 3. Сравнение ответов при обращении за обобщенным полным (слева) и доступным (справа) состоянием ГРИС при недоступности в данный момент данных из одного из источников

В результате увеличивается время формирования обобщенного состояния ГРИС, что влечет за собой увеличение времени обнаружения сбоя ( $ПЭ-1=\uparrow$ ). В случае же недоступности одного из источников данных, формирование обобщенного состояния становится и вовсе невозможным, что означает, что сбой так и не будет обнаружен.

Данные о новом, актуальном состоянии могут не соответствовать уже полученным ранее данным о старом состоянии ГРИС, что ограничивает возможность сохранения такого набора данных в одной базе данных. Однако существует отдельный класс баз данных, которые допускают отсутствие целостности данных – это нереляционные базы данных [9], что делает данный принцип допустимым (Д), однако все же несостоятельным (неэффективным).

*Гипотеза 4.* Сохранность и неизменность исходных данных при формировании обобщенного состояния (в отличие от их модификации) позволяет повысить уровень доступности сервиса за счет уменьшения времени устранения сбоя.

*Доказательство.* ГРИС представляет из себя сложную структуру, состоящую зачастую из десятков тысяч вычислительных машин, расположенных во многих центрах

обработки данных по всему миру. Информация о состоянии такой ГРИС, поступающая от различных систем мониторинга, будет представлять собой огромный массив данных, сложный для восприятия человеком. Для упрощения восприятия человеком этот массив данных преобразуется в упрощенное сообщение – «красную лампочку», сигнализирующую о сбое и служащую задаче минимизации времени его обнаружения и привлечения дежурного инженера к его устранению ( $P$ ).

Рассмотрим альтернативный (традиционный) подход, при котором формирование обобщенного (редуцированного) состояния ГРИС будет сопровождаться потерей исходных данных. После получения сообщения типа «красная лампочка» потребуется провести работы по устранению сбоя. Для определения причины сбоя и выбора адекватного способа его устранения потребуется произвести диагностику ГРИС, собирая необходимую детальную информацию о ее состоянии. Очевидно, что выполнение этой задачи требует временных затрат, что автоматически приведет к увеличению времени восстановления сервиса ( $ПЭ-3=\uparrow$ ), и чего можно было бы избежать, если бы исходные данные не были потеряны (рис. 4).

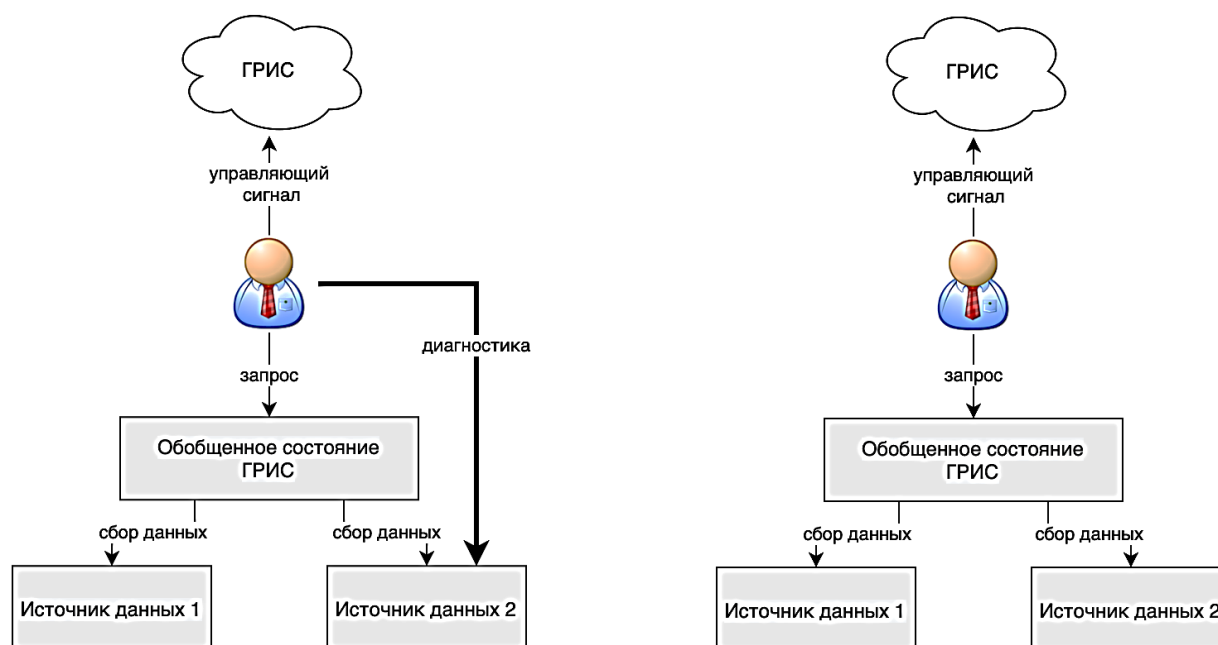


Рис. 4. Сравнение набора действий для восстановления ГРИС в случае несохранности (слева) и сохранности (справа) исходных данных

При этом очевидно, что имеем дело с большим объемом данных, хранение и доступ к которым может быть проблемным. Однако в последнее время активно развивается наука и технологии хранения и обработки больших данных (Big Data) [10], что делает данный принцип допустимым ( $D$ ), однако все так же несостоятельным (неэффективным).

#### Анализ непротиворечивости (совместимости) принципов

Окончательная оценка обоснованности ОТП призвана установить их противоречивость/непротиворечивость, которая определяется путем анализа «знака» влияния их друг на друга при совместном применении в границах предметной области. Отрицательное влияние (одностороннее или двухстороннее) ОТП дает знак «минус» и расценивается как факт противоречивости; положительное влияние (знак «плюс») или отсутствие влияния (знак «ноль») расценивается как факт непротиворечивости.

Противоречивость ОТП ставит под сомнение доказательство их обоснованности и уменьшает их оценочную необходимость и достаточность, указывая на незавершенность процесса синтеза ОТП.

Рассмотрим взаимное влияние ОТП-1 и ОТП-2. Способ обращения к источнику данных, будь он персонализированным либо анонимным (ОТП-2), относится к этапу сбора данных и не имеет взаимного влияния со свойством универсальности, либо специфичности интеграционной модели (ОТП-1), которое относится к этапу интеграции. Аналогичным образом ОТП-1 не имеет взаимного влияния с ОТП-3, который также относится к этапу сбора данных.

Рассмотрим пару ОТП-2 и ОТП-3. Оба эти принципа относятся к этапу получения данных состояния ГРИС. Следствием принципа персональности обращения к источникам данных (ОТП-2) является потенциальная неполнота исходных данных (так как пользователь имеет разрешение на доступ только к части из них), что усиливает принцип актуальности и доступности данных (ОТП-3) как альтернативу принципу полноты данных. Реализация обоих этих принципов потребует общих технических решений.

Далее, рассмотрим пары ОТП-4 с ОТП-3 и ОТП-2. Принцип сохранности и неизменности данных (ОТП-4) относится к этапу интеграции уже полученных данных и не имеет взаимного влияния с ОТП-3 и ОТП-2.

Последняя пара: ОТП-1 и ОТП-4. Оба эти принципа относятся к этапу интеграции данных. В случае сохранности и неизменности исходных данных (ОТП-4), для их хранения не требуется разработки отдельной модели данных либо модификации интеграционной модели данных, что имеет позитивное влияние на ОТП-1, так как позволяет упростить модель.

### Заключение

Обоснованность каждого из четырех ранее задекларированных принципов интеграции баз данных состояния ГРИС была доказана методом «от альтернативного» и усилена анализом допустимости данного принципа.

ОТП-1 (универсальность интеграционной модели данных) обоснован снижением трудоемкости эксплуатации по сравнению с альтернативой создания специфических моделей (ПЭ-4 = ↑) для большого количества задач интеграции. Допустимость данного принципа была показана в отдельной статье [7].

ОТП-2 (персонализированность обращения к источникам данных) при возможной равной ресурсоемкости по сравнению с альтернативой (анонимное обращение) позволяет снизить время оповещения дежурного инженера за счет возможности задействования большего количества сотрудников компании в такой роли. Допустимость данного принципа подтверждается существованием и практическим применением стандарта аутентификации OpenID Connect [8].

ОТП-3 (обеспечение доступной и максимально актуальной информации) позволяет снизить время обнаружения сбоя по сравнению с традиционной альтернативой (обеспечение полной информации). Допустимость обеспечивается развитием нереляционных баз данных [9].

ОТП-4 (сохранность и неизменность исходных данных) позволяет снизить время восстановления ГРИС, так как исчезает необходимость в повторном сборе этих данных для диагностики причин сбоя. Допустимость подтверждается наличием и развитием технологий BigData [10].

Попарный анализ на противоречивость/непротиворечивость ОТП показал взаимное позитивное влияние для двух пар принципов и «нулевое» для остальных, что говорит о непротиворечивости инновационных принципов.

В дальнейшем обоснованные ОТП могут быть положены в основу при проектировании и практической реализации информационной системы сбора

и прагматического анализа данных о состоянии ГРИС в интересах службы эксплуатации. Также, руководствуясь законом Конвея (Conway's law) о соответствии архитектуры используемых и разрабатываемых технических средств и организационной структуры предприятия [11], имеет смысл в последующих работах исследовать вопрос об оптимизации традиционной организационной структуры службы эксплуатации при внедрении ИС, основанных на инновационных ОТП.

### Список источников

1. Рынок онлайн-образования в России: маркетинговое исследование Data Insight и Нетологии // DataInsight. 2022. URL: [https://datainsight.ru/russian\\_education\\_market](https://datainsight.ru/russian_education_market) (дата обращения: 09.08.2022).
2. Сбер представил образовательную онлайн-платформу Edutoria // SberPress. 2022. URL: <https://press.sber.ru/publications/sber-predstavil-obrazovatel'nuiu-onlain-platformu-edutoria> (дата обращения: 09.08.2022).
3. Российский eCommerce между весной и летом 2022: маркетинговое исследование // DataInsight. 2022. URL: [https://datainsight.ru/Ecommerce\\_in\\_Russia\\_between\\_spring\\_and\\_summer\\_2022](https://datainsight.ru/Ecommerce_in_Russia_between_spring_and_summer_2022) (дата обращения: 09.08.2022).
4. Буйневич М.В., Ефимов В.В. Организационно-технические принципы интеграции баз данных состояния глобально распределенной информационной системы // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 2. С. 108–115. eLIBRARY ID: 46260666.
5. Doan A.H., Halevy A., Ives Z. Principles of Data Integration. Waltham: Morgan Kaufmann, 2012. 520 p.
6. The Site Reliability Workbook: Practical Ways to Implement SRE / B. Beyer [et al.]. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2018. 512 p.
7. Efimov V.V., Mescheryakov S.V., Shchemelinin D.A. Integration Data Model for Continuous Service Delivery in Cloud Computing System // Proceedings of the 20th International Conference on Distributed Computer and Communication Networks (DCCN 2017, Moscow, Russia, 25–29 September 2017). Communications in Computer and Information Science book series. Cham: Springer. 2017. Vol. 700. P. 87–97. DOI: 10.1007/978-3-319-66836-9\_8.
8. Openid connect core 1.0 / N. Sakimura [et al.] // The OpenID Foundation, 2014. P. S3.
9. Ordonez C., Song I.Y., Garcia-Alvarado C. Relational versus non-relational database systems for data warehousing // Proceedings of the ACM 13th international workshop on Data warehousing and OLAP (DOLAP'10, Toronto, Canada, 30 October 2010). New York: Association for Computing Machinery, 2010. P. 67–68. DOI: 10.1145/1871940.1871955.
10. Mazumder S. Big Data Tools and Platforms // In: Yu, S., Guo, S. (eds). Big Data Concepts, Theories, and Applications. Cham: Springer, 2016. P. 29–128. DOI: 10.1007/978-3-319-27763-9\_2.
11. Herbsleb J.D., Grinter R.E. Architectures, coordination and distance: Conway's law and beyond // IEEE software. 1999. Vol. 16. Iss. 5. P. 63–70. DOI: 10.1109/52.795103.

### References

1. Rynok onlajn-obrazovaniya v Rossii: marketingovoe issledovanie Data Insight i Netologii // DataInsight. 2022. URL: [https://datainsight.ru/russian\\_education\\_market](https://datainsight.ru/russian_education_market) (data obrashcheniya: 09.08.2022).
2. Sber predstavil obrazovatel'nyuyu onlajn-platformu Edutoria // SberPress. 2022. URL: <https://press.sber.ru/publications/sber-predstavil-obrazovatel'nuiu-onlain-platformu-edutoria> (data obrashcheniya: 09.08.2022).
3. Rossijskij eCommerce mezhdru vesnoy i letom 2022: marketingovoe issledovanie // DataInsight. 2022. URL: [https://datainsight.ru/Ecommerce\\_in\\_Russia\\_between\\_spring\\_and\\_summer\\_2022](https://datainsight.ru/Ecommerce_in_Russia_between_spring_and_summer_2022) (data obrashcheniya: 09.08.2022).

4. Bujnevich M.V., Efimov V.V. Organizacionno-tehnicheskie principy integracii baz dannyh sostoyaniya global'no raspredelennoj informacionnoj sistemy // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 2. S. 108–115. eLIBRARY ID: 46260666.
5. Doan A.H., Halevy A., Ives Z. Principles of Data Integration. Waltham: Morgan Kaufmann, 2012. 520 p.
6. The Site Reliability Workbook: Practical Ways to Implement SRE / B. Beyer [et al.]. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2018. 512 p.
7. Efimov V.V., Mescheryakov S.V., Shchemelinin D.A. Integration Data Model for Continuous Service Delivery in Cloud Computing System // Proceedings of the 20th International Conference on Distributed Computer and Communication Networks (DCCN 2017, Moscow, Russia, 25–29 September 2017). Communications in Computer and Information Science book series. Cham: Springer, 2017. Vol. 700. P. 87–97. DOI: 10.1007/978-3-319-66836-9\_8.
8. Openid connect core 1.0 / N. Sakimura [et al.] // The OpenID Foundation, 2014. P. S3.
9. Ordonez C., Song I.Y., Garcia-Alvarado C. Relational versus non-relational database systems for data warehousing // Proceedings of the ACM 13th international workshop on Data warehousing and OLAP (DOLAP'10, Toronto, Canada, 30 October 2010). New York: Association for Computing Machinery, 2010. P. 67–68. DOI: 10.1145/1871940.1871955.
10. Mazumder S. Big Data Tools and Platforms // In: Yu S., Guo S. (eds). Big Data Concepts, Theories, and Applications. Cham: Springer, 2016. P. 29–128. DOI: 10.1007/978-3-319-27763-9\_2.
11. Herbsleb J.D., Grinter R.E. Architectures, coordination and distance: Conway's law and beyond // IEEE software. 1999. Vol. 16. Iss. 5. P. 63–70. DOI: 10.1109/52.795103.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 29.08.2022; одобрена после рецензирования: 30.08.2022; принята к публикации: 02.09.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 29.08.2022; approved after review: 30.08.2022; accepted for publication: 02.09.2022

*Сведения об авторах:*

**Вадим Вячеславович Ефимов**, ведущий эксперт по технологиям ООО «Сберобразование» (121170, Москва, Кутузовский пр., д. 32, к. 1), преподаватель-исследователь, e-mail: 2vadim@inbox.ru

*Information about the authors:*

**Vadim V. Efimov**, technology lead at ООО «Sberobrazovanie» (121170, Moscow, Kutuzovskiy pr., 32, building 1), teacher-researcher, e-mail: 2vadim@inbox.ru



**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Санкт-Петербургский университет  
Государственной противопожарной службы Министерства Российской  
Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям  
и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской  
Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева»**

**Научно-аналитический журнал  
«Вестник Санкт-Петербургского университета  
ГПС МЧС России»**

**№ 3 – 2022**

Редакторы  
И.В. Дмитриева,  
Л.В. Алексеева

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России  
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149