

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

№ 4 – 2022

**Редакционный совет**

|  |   |
|--|---|
| <b>Ложкин В.Н.</b><br><i>Председатель</i>                  | д.т.н., проф., засл. деят. науки Рос. Федерации, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия  |
| <b>Матвеев А.В.</b><br><i>Заместитель<br/>председателя</i> | к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия   |
| <b>Калач А.В.</b>  | д.х.н., проф., Воронежский институт федеральной службы исполнения наказаний России, г. Воронеж, Россия  |
| <b>Мокрозуб В.Г.</b>                                       | д.т.н., проф., член-корреспондент РАЕН, почет. работник Вышш. проф. обр. Рос. Федерации, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия  |
| <b>Кубасов И.А.</b>  | д.т.н., доц., Академия управления МВД России, Москва, Россия  |
| <b>Маторин С.И.</b>  | д.т.н., проф., Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия  |
| <b>Минаков В.Ф.</b>  | д.т.н., проф., Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Россия   |
| <b>Рыбаков А.В.</b>  | д.т.н., проф., Академия гражданской защиты МЧС России, Москва, Россия   |
| <b>Буйневич М.В.</b>                                       | д.т.н., проф., Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия   |
| <b>Сатыбалдина Д.Ж.</b>                                    | к.ф-м.н., доц., Евразийский национальный университет им. Л.Г. Гумилева, г. Нур-Султан, Республика Казахстан   |
| <b>Дворников С.В.</b>                                      | д.т.н., проф., Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург, Россия  |
| <b>Израилов К.Е.</b>                                       | к.т.н., Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия; Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия |
| <b>Тиамийу О.А.</b>  | к.т.н., Государственный университет, г. Илорина, Нигерия  |

|   |  |
|---|--|
| <b>Ивахнюк Г.К.</b>                       | д.х.н., проф., лауреат премии Правительства Рос. Федерации в обл. науки и техники, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург, Россия |
| <b>Барбин Н.М.</b>                        | д.т.н., проф., Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия  |
| <b>Джиган Н.Д.</b>                        | д.психол.н., проф., Барановичский государственный университет, г. Барановичи, Республика Беларусь  |
| <b>Бобрищев А.А.</b>                      | д.психол.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия   |
| <b>Гончаренко И.А.</b>                    | д.ф-м.н., проф., Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь  |
| <b>Богданова В.В.</b>                     | д.х.н., проф., Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь  |
| <b>Медведева Л.В.</b><br><i>Секретарь</i> | д.п.н., проф., засл. работник высш. шк. Рос. Федерации, акад. Междунар. акад. холода, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия                                      |

| <b>Редакционная коллегия</b>                        |   |
|---|---|
| <b>Зыбина О.А.</b><br><i>Председатель</i>           | д.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия   |
| <b>Онов В.А.</b><br><i>Заместитель председателя</i> | к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия   |
| <b>Турсенев С.А.</b>                                | к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия   |
| <b>Терехин С.Н.</b>                                 | д.т.н., доц. Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия  |
| <b>Лобжа М.Т.</b>                                   | д.п.н., проф., Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия       |
| <b>Евдокимов В.И.</b>                               | д.мед.н., проф., Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия |
| <b>Ложкина О.В.</b>                                 | д.т.н., к.х.н., проф., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия                                  |
| <b>Максимов А.В.</b><br><i>Секретарь</i>            | к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия   |

| <b>Editorial council</b>                      |   |
|---|---|
| <b>Lozhkin B.N.</b><br><i>Chairman</i>        | DSc, prof., honored activity science Russian Federations, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia  |
| <b>Matveev A.V.</b><br><i>Deputy chairman</i> | PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia  |
| <b>Kalach A.V.</b>                            | DSc, prof., Voronezh institute of the federal penitentiary service of Russia, Voronezh, Russia  |
| <b>Mokrozub V.G.</b>                          | DSc, prof., corresponding member of the Russian academy of natural sciences, honor. Higher worker prof. arr. Russian Federation, Tambov state technical university, Tambov, Russia                                |
| <b>Kubasov I.A.</b>                           | DSc, associate prof., Academy of management of the Ministry of internal affairs of Russia, Moscow, Russia   |
| <b>Matorin S.I.</b>                           | DSc, prof., Belgorod university of cooperation, economics and law, Belgorod, Russia   |
| <b>Minakov V.F.</b>                           | DSc, prof., Saint-Petersburg state university of economics, Saint-Petersburg, Russia  |
| <b>Rybakov A.V.</b>                           | DSc, prof., Academy of civil protection of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia  |
| <b>Buynevich M.V.</b>                         | DSc, prof., Saint-Petersburg university of telecommunications prof. M.A. Bonch-Bruevich, Saint-Petersburg, Russia   |
| <b>Satybaldina D.Zh.</b>                      | PhD, associate prof., Eurasian national university L.G. Gumilyov, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan  |
| <b>Dvornikov S.V.</b>                         | DSc, prof., Military academy of communications. Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, Saint-Petersburg, Russia   |
| <b>Izrailov K.E.</b>                          | PhD, Saint-Petersburg university of telecommunications prof. M.A. Bonch-Bruevich, Saint-Petersburg, Russia; Saint-Petersburg Federal research center of the Russian academy of sciences, Saint-Petersburg, Russia |
| <b>Thiamiyu O.A.</b>                          | PhD, State university, Ilorina, Nigeria   |
| <b>Ivakhnyuk G.K.</b>                         | DSc, prof., laureate of the Government prize Russian Federation in the region science and technology, Saint-Petersburg state technological institute (technical university), Saint-Petersburg, Russia             |
| <b>Barbin N.M.</b>                            | DSc, prof., Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia  |
| <b>Jiga N.D.</b>                              | DSc, prof., Baranovichi state university, Baranovichi, Republic of Belarus  |
| <b>Bobrishev A.A.</b>                         | DSc, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia  |
| <b>Goncharenko I.A.</b>                       | DSc, prof., University of civil protection of the Ministry of emergency situations of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus   |

|  |   |
|--|---|
| <b>Bogdanova V.V.</b>                      | DSc, prof., University of civil protection of the Ministry of emergency situations of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus                                       |
| <b>Medvedeva L.V.</b><br><i>Secretary</i>  | DSc, prof., honored Higher worker school Russian Federation, acad. International acad. cold, Saint-Petersburg State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia |
| <b>Editorial board</b>                     |   |
| <b>Zybina O.A.</b><br><i>Chairman</i>      | DSc, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia  |
| <b>Onov V.A.</b><br><i>Deputy chairman</i> | PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia  |
| <b>Tursenev S.A.</b>                       | PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia  |
| <b>Terekhin S.N.</b>                       | DSc, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia  |
| <b>Lobzha M.T.</b>                         | DSc, prof., Petersburg state university of communications of Emperor Alexander I, Saint-Petersburg, Russia  |
| <b>Evdokimov V.I.</b>                      | DSc, prof., All-Russian center for emergency and radiation medicine A.M. Nikiforov of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia   |
| <b>Lozhkina O.V.</b>                       | DSc, PhD, prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia   |
| <b>Maksimov A.V.</b><br><i>Secretary</i>   | PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia  |

## СОДЕРЖАНИЕ

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

**Присяжнюк Н.Л., Чыонг Ван Хынг.** Анализ показателей пожарной опасности во Вьетнаме за период с 2010 по 2021 год. .... 1

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

**Сытдыков М.Р., Иванов А.В.** Оценка эффективности технических средств порошкового пожаротушения методом экспертной оценки. .... 13

**Скрышников О.И., Щетка В.Ф.** Сравнительный анализ методов оценки рисков аварий на объектах транспортировки нефтепродуктов. .... 20

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

**Головина Е.В., Калач А.В.** Исследование терморасширяющихся огнезащитных составов методом термического анализа для применения в условиях Арктического региона. .... 34

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

**Хайдаров А.Г., Королева Л.А., Смирнов А.С.** Прогнозирование возникновения и распространения подземных пожаров на полигонах твердых коммунальных отходов. .... 41

**Тимошенко А.Л., Елисеев И.Б., Войтенко О.В.** Модель взаимодействия системы-112 и Автоматизированной системы управления дорожным движением в Санкт-Петербурге. .... 51

**Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Бабилов И.А.** Метод управления поддержанием готовности средств противопожарной защиты с использованием марковских цепей. .... 60

**Хосейн Мехди Заде.** Определение важности факторов при выборе подрядчиков в строительных проектах на основе модели Кано (на примере муниципалитета г. Мешхед). .... 70

**Куватов В.И., Заводсков Г.Н., Колеров Д.А.** Оценка эффективности управления безопасностью на объектах водного транспорта. .... 81

**Власенко В.И., Бибарсов М.Р., Дворников С.В., Дворников С.С.** Повышение эффективности приема в декаметровых линиях радиосвязи МЧС России. .... 91

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

**Белхароев Х.У., Ситкова К.Е.** К вопросу устойчивого развития регионов России в условиях ограничительных мер: право, экономика и национальная безопасность. .... 101

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

**Баскин Ю.Г., Свидзинская Г.Б.** Особенности отношения к процессу обучения в гендерно однородных по составу и смешанных учебных коллективах курсантов. .... 109

**Тхорик Н.С., Джига Н.Д.** Коммуникативная компетентность студентов помогающих профессий в контексте волонтерской деятельности. .... 121

### ***ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ***

**Панкратова М.В.** Функциональная модель управления силами и средствами МЧС России при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в Арктической зоне Российской Федерации. .... 128

## CONTENTS

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

**Prisyazhnyuk N.L., Truong Van Hung.** Analysis of fire hazard indicators in Vietnam for the period from 2010 to 2021. .... 1

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

**Sytdykov M.R., Ivanov A.V.** Evaluation of the effectiveness of technical means of powder fire extinguishing by the method of expert evaluation. .... 13

**Skrypnikova O.I., Shchetka V.F.** Comparative analysis of methods for assessing the risks of accidents at oil products transportation facilities. .... 20

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

**Golovina E.V., Kalach A.V.** Investigation of thermally expanding flame retardants by thermal analysis for use in conditions of Arctic region. .... 34

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

**Khaidarov A.G., Koroleva L.A., Smirnov A.S.** Forecasting the occurrence and spread of underground fires at landfills of solid municipal waste. .... 41

**Timoshenko A.L., Eliseev I.B., Voitenok O.V.** Model of interaction between system-112 and the Automated traffic control system in Saint-Petersburg. .... 51

**Tanklevsky L.T., Tarantsev A.A., Babikov I.A.** Method of management of maintenance of readiness of fire protection means using Markov chains. .... 60

**Hossein Mehdi Zadeh.** Determining the effective factors in the selection of contractors in construction projects based on the kano model (case study: Mashhad municipality). .... 70

**Kuvatov V.I., Zavodskov G.N., Kolerov D.A.** Evaluation of the efficiency of safety management in water transport facilities. .... 81

**Vlasenko V.I., Bibarsov M.R., Dvornikov S.V., Dvornikov S.S.** Improving the efficiency of signal reception in decameter radio communication lines of EMERCOM of Russia. .... 91

### ***ECONOMICS, MANAGEMENT SYSTEMS***

**Belkharoev K.U., Sitkova K.E.** On the issue of sustainable development of Russian regions under restrictive measures: law, economy and national security. .... 101

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

**Baskin Yu.G., Svidzinskaya G.B.** Features of the attitude to the learning process in gender-homogeneous and mixed educational groups of cadets. .... 109

**Thorik N.S., Dzhiga N.D.** Communicative competence of students of helping professions in the context of volunteer activity. .... 121

### ***WORKS OF YOUNG SCIENTISTS***

**Pankratova M.V.** Functional model of management of forces and means of EMERCOM of Russia during the liquidation of oil and petroleum product spills in the Arctic zone of the Russian Federation. .... 128

---

---

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

---

---

Научная статья

УДК 614.841.2

## АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ВО ВЬЕТНАМЕ ЗА ПЕРИОД С 2010 ПО 2021 ГОД

**Присяжнюк Николай Леонидович;**

✉ **Чьонг Ван Хынг.**

**Академия ГПС МЧС России, Москва, Россия**

✉ ***vanhungbm5t34@gmail.com***

*Аннотация.* Для решения задач по обеспечению пожарной безопасности во Вьетнаме, в данной статье представлен всесторонний сравнительный анализ последствий пожаров за последние 12 лет, в том числе использован метод наименьших квадратов для построения аппроксимации уравнения. На основании исследования сделаны выводы об эффективности включения результатов анализа в систему управления при принятии решений по оценке уровней пожарной опасности страны.

Построены аппроксимирующие функции (тренды) основных показателей последствий пожаров. Получен прогноз по основным показателям, таким как: количество пожаров, погибшие и материальный ущерб в целом, в городах и в сельской местности Вьетнама на 2022 г. и 2023 г. Получены результаты последствий пожаров, которые могут определять рамки исследований, определяющих пути снижения пожарных рисков, уменьшение ущерба от пожаров и совершенствование организационно-технических мероприятий, обеспечивающих пожарную безопасность во Вьетнаме.

*Ключевые слова:* пожарная опасность, пожарная обстановка, аппроксимирующая функция, показатель, последствия, ущерб

**Для цитирования:** Присяжнюк Н.Л., Чьонг Ван Хынг. Анализ показателей пожарной опасности во Вьетнаме за период с 2010 по 2021 год // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербург. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 1–12.

## ANALYSIS OF FIRE HAZARD INDICATORS IN VIETNAM FOR THE PERIOD FROM 2010 TO 2021

**Prisyazhnyuk Nikolay L.;**

✉ **Truong Van Hung.**

**Academy of State fire service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia**

✉ ***vanhungbm5t34@gmail.com***

*Abstract.* To solve the problems of ensuring fire safety in Vietnam, this article provides a comprehensive comparative analysis of the consequences of fires over the past twelve years, including the use of the least squares method to construct an approximation of the equation. Based on the study, conclusions were drawn about the effectiveness of including the results of the analysis in the management system when making decisions on assessing the levels of fire danger in the country.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

Approximating functions (trends) of the main indicators of fire consequences are constructed. A forecast was obtained for the main indicators, such as: the number of fires, deaths and material damage in general, in cities and rural areas of Vietnam for 2022 and 2023. The results of the consequences of fires have been obtained, which can determine the scope of research that determines ways to reduce fire risks, reduce fire damage and improve organizational and technical measures that ensure fire safety in Vietnam.

*Keywords:* fire danger, fire situation, approximating function, indicator, consequences, damage

**For citation:** Prisyazhnyuk N.L., Truong Van Hung. Analysis of fire hazard indicators in Vietnam for the period from 2010 to 2021 // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 4. P. 1–12.

## Введение

Принимая во внимание политические, социальные и экономические изменения, которые произошли во Вьетнаме, а также совершенствования анализа и оценки последствий пожаров, в данной статье представлен более расширенный анализ последствий пожаров за период с 2010 по 2021 г. Таким образом, аналитическая оценка отражает возрастающую степень пожарной опасности во Вьетнаме.

## Методы и результаты исследований и их обсуждение

Использованы методы анализа, синтеза и наименьших квадратов.

На современном этапе социально-экономического развития Вьетнама проблема обеспечения пожарной безопасности приобретает особую остроту и актуальность. Во Вьетнаме расположено большое и разнообразное количество объектов, таких как: новостройки, жилые, промышленные, административные, торговые, транспортные, складские, культурные объекты, на которые приходится 92,7 % пожаров. Среднегодовое количество пожаров во Вьетнаме с 2010 по 2021 г. свыше 2 700 пож.год<sup>-1</sup>, в том числе в городах, составляет 58,4 %, в сельской местности – 41,6 %. Прямой ущерб по Вьетнаму в среднем составляет 63,71 млн долл.год<sup>-1</sup>, а гибель людей 80 чел.год<sup>-1</sup>, травмировано при пожаре 180 чел.год<sup>-1</sup>. Результат анализа статистики о последствиях пожаров во Вьетнаме в период 2010–2021 гг. показывает, что состояние пожарной обстановки неудовлетворительное. Число погибших людей на 100 пожаров во Вьетнаме вдвое выше, чем среднее число погибших среди 33 стран мира. Построены аппроксимирующие функции (тренды) основных показателей последствий пожаров. Получен прогноз по основным показателям, таким как: количество пожаров, погибшие и материальный ущерб в целом, в городах и в сельской местности Вьетнама на 2022 г. и 2023 г. Получены результаты последствий пожаров, которые могут определять рамки исследований, характеризующих пути снижения пожарных рисков, уменьшение ущерба от пожаров и совершенствование организационно-технических мероприятий, обеспечивающих пожарную безопасность во Вьетнаме.

Вьетнам расположен в центре Юго-Восточной Азии, на востоке Индокитайского полуострова. Население 98,6 млн чел., в том числе в городах – 37,2 млн чел. (37,7 %). Его естественный прирост за последние 10 лет составил в среднем 1,14 % в год. Плотность населения составляет 317 чел./км<sup>2</sup>. Средняя продолжительность жизни: 73,6 г. (71 г. – у мужчин, 76,3 г. – у женщин) [1].

В настоящее время Вьетнам продолжает оставаться одной из самых быстрорастущих экономик Азии. В периоде 2010–2019 гг. среднегодовой темп роста валового внутреннего продукта (ВВП) составил порядка 6,5 %. Из-за негативных последствий, вызванных COVID-19, рост ВВП Вьетнама упал до 2,91 % в 2020 г., а в 2021 г. до 2,58 %, но остался выше среднего по региону, где средний показатель составил 2,0 % [1].

На основании исследования показателей пожарной опасности во Вьетнаме в табл. 1 и 2 приведены основные показатели пожаров и их последствий [2, 3]. Такие показатели являются основополагающими в статистическом учете Главного управления противопожарной и спасательной службы Министерства общественной безопасности Вьетнама.

Таблица 1. Количество пожаров и их последствий во Вьетнаме за период 2010–2021 гг.

| Показатели                          | Годы                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                     | 2010                 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|                                     | 1                    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| Количество пожаров, ед.             | Всего                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 1843                 | 1548 | 1751 | 2624 | 2375 | 2792 | 3006 | 3794 | 4047 | 3790 | 2764 | 2245 |
|                                     | В городах            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 1045                 | 856  | 939  | 1348 | 1308 | 1658 | 1749 | 2346 | 2505 | 2649 | 1443 | 1172 |
| Количество погибших, чел.           | Всего                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 60                   | 75   | 73   | 60   | 90   | 62   | 98   | 99   | 97   | 85   | 75   | 85   |
|                                     | В городах            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 37                   | 46   | 44   | 40   | 50   | 35   | 54   | 59   | 60   | 55   | 55   | 64   |
| Количество травмированных, чел.     | Всего                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 180                  | 215  | 136  | 199  | 143  | 264  | 180  | 182  | 211  | 177  | 144  | 130  |
|                                     | В городах            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 102                  | 125  | 72   | 119  | 107  | 170  | 120  | 109  | 132  | 112  | 80   | 82   |
| Уничтожено строений (объектов), ед. | Всего                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 548                  | 418  | 412  | 569  | 527  | 602  | 616  | 738  | 815  | 707  | 693  | 487  |
|                                     | В городах            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 366                  | 252  | 257  | 360  | 293  | 377  | 350  | 431  | 435  | 422  | 519  | 367  |
| Количество пожаров, ед.             | Всего                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 798                  | 692  | 812  | 1276 | 1067 | 1134 | 1257 | 1448 | 1542 | 1141 | 1321 | 1073 |
|                                     | В сельской местности |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 23                   | 29   | 29   | 20   | 41   | 27   | 44   | 40   | 37   | 30   | 20   | 21   |
| Количество погибших, чел.           | Всего                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 60                   | 75   | 73   | 60   | 90   | 62   | 98   | 99   | 97   | 85   | 75   | 85   |
|                                     | В городах            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 37                   | 46   | 44   | 40   | 50   | 35   | 54   | 59   | 60   | 55   | 55   | 64   |
| Количество травмированных, чел.     | Всего                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 180                  | 215  | 136  | 199  | 143  | 264  | 180  | 182  | 211  | 177  | 144  | 130  |
|                                     | В городах            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 102                  | 125  | 72   | 119  | 107  | 170  | 120  | 109  | 132  | 112  | 80   | 82   |
| Уничтожено строений (объектов), ед. | Всего                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 548                  | 418  | 412  | 569  | 527  | 602  | 616  | 738  | 815  | 707  | 693  | 487  |
|                                     | В городах            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 366                  | 252  | 257  | 360  | 293  | 377  | 350  | 431  | 435  | 422  | 519  | 367  |
| Количество пожаров, ед.             | Всего                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 798                  | 692  | 812  | 1276 | 1067 | 1134 | 1257 | 1448 | 1542 | 1141 | 1321 | 1073 |
|                                     | В сельской местности |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                     | 23                   | 29   | 29   | 20   | 41   | 27   | 44   | 40   | 37   | 30   | 20   | 21   |

Для анализа прямого ущерба от пожаров по годам его следует приводить к базовому году через коэффициенты пересчета. Путем соответствующих расчетов получены коэффициенты пересчета текущих значений ущерба к базовому году, а также значения этих ущербов по годам в ценах на 1 января 2022 г., которые представлены в табл. 2.

Самое высокое число погибших и травмированных в 2016–2018 гг., а после наблюдается заметное снижение. За последние пять лет самый высокий показатель погибших и травмированных людей от пожаров относится к 2018 г., где число погибших составило 97 чел., а число травмированных – 211 чел. Максимальный прямой ущерб – 96,83 млн долл. в 2013 г., кроме этого, в 2017 г. отмечен высокий ущерб от пожаров, который составил 87,53 млн долл.

Гибель и травматизм людей при пожарах – это проблема, требующая особого внимания. Для ее решения необходимо осуществлять ряд организационно-технических мероприятий [4].

**Таблица 2. Коэффициенты пересчета значений прямого ущерба во Вьетнаме  
в ценах на 1 января 2022 г. (млн долл.)**

| Годы | Инфляции<br>во Вьетнаме,<br>(%) | Прямой<br>ущерб<br>по годам | Коэффициент<br>пересчета ущерба<br>на 1 января 2022 г. | Прямой<br>ущерб<br>с пересчетом<br>на 1 января 2022 г. | Прямой<br>ущерб<br>в городах | Прямой<br>ущерб<br>в сельской<br>местности |
|------|---------------------------------|-----------------------------|--|--|------------------------------|--|
| 2010 | 9,19                            | 27,17                       | 1,88   | 51,01  | 34,13                        | 16,88                                      |
| 2011 | 18,58                           | 25,19                       | 1,72   | 43,32  | 29,06                        | 14,26                                      |
| 2012 | 9,21                            | 49,06                       | 1,45   | 71,14  | 44,36                        | 26,78                                      |
| 2013 | 6,60                            | 72,92                       | 1,33   | 96,83  | 59,35                        | 37,48                                      |
| 2014 | 4,09                            | 57,56                       | 1,25   | 71,70  | 40,81                        | 30,89                                      |
| 2015 | 0,63                            | 50,21                       | 1,20   | 60,09  | 37,54                        | 22,55                                      |
| 2016 | 2,66                            | 54,61                       | 1,19   | 64,94  | 39,82                        | 25,12                                      |
| 2017 | 3,53                            | 75,56                       | 1,16   | 87,53  | 51,97                        | 35,56                                      |
| 2018 | 3,54                            | 62,71                       | 1,12   | 70,16  | 43,48                        | 26,68                                      |
| 2019 | 2,79                            | 67,24                       | 1,08   | 72,66  | 43,34                        | 29,32                                      |
| 2020 | 3,23                            | 41,04                       | 1,05   | 43,15  | 25,3                         | 17,85                                      |
| 2021 | 1,84                            | 31,34                       | 1,02   | 31,97  | 20,66                        | 11,31                                      |

В настоящее время пожар можно оценивать как существенный фактор риска с серьезными социально-экономическими последствиями для общества. Социально-экономическая потеря – выбытие рабочей силы из производственной деятельности, а также стоимость ущерба, вызванного гибелью и травматизмом людей в результате пожаров [5, 6].

**Таблица 3. Среднее значение количества пожаров и их последствий по различным видам  
объектов во Вьетнаме (период исследования 2010–2021 гг.)**

| Вид объекта              | Количество<br>о пожаров,<br>(ед. · год <sup>-1</sup> ) | Прямой ущерб,<br>(млн долл. · год <sup>-1</sup> ) | Число<br>погибших,<br>(чел. · год <sup>-1</sup> ) | Число<br>травмированных,<br>(чел. · год <sup>-1</sup> ) | Число<br>уничтоженных<br>объектов,<br>(ед. · год <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------|--|---|---|---|--|
| Жилой сектор             | 1514,9   | 24,51   | 39,0  | 91,5  | 200,6  |
| Административные объекты | 24,4   | 2,49  | 4,9   | 8,5   | 24,5   |
| Промышленные объекты     | 423,5  | 20,53   | 12,0  | 29,4  | 110,3  |
| Торговые объекты         | 268,8  | 4,36  | 3,7   | 7,7   | 33,1   |
| Транспортные объекты     | 160,2  | 3,48  | 4,7   | 12,8  | 70,2   |
| Складские объекты        | 67,9   | 2,24  | 5,9   | 6,7   | 18,7   |
| Новостройки              | 40,7   | 1,00  | 1,6   | 1,4   | 8,7  |
| Культурные объекты       | 16,3   | 1,12  | 2,6   | 7,4   | 4,4  |
| Другие объекты           | 198,2  | 3,98  | 5,4   | 14,8  | 78,5   |
| Итого                    | 2714,9   | 63,71   | 79,9  | 180,1   | 548,7  |

Таким образом, анализ динамики пожаров за 2010–2021 гг. убеждает в том, что пожары несут огромный ущерб для экономики Вьетнама. Кроме этого, остается высоким количество погибших и травмированных людей. На основании данных [2, 3, 7] были

получены средние значения количества пожаров и их последствий по основным видам объектов во Вьетнаме (табл. 3).

Наряду с социально-экономическим развитием по всей стране появляются индустриальные парки, экспортно-перерабатывающие комплексы, высокотехнологичные комплексы, концентрированные хозяйственные комплексы, все большую популярность приобретают технологические линии, увеличивается объем товаров и оборудования объектов. Огневзрывоопасные свойства многих новых устройств технологических процессов и материалов также стали более сложными и опасными.

Проведённая аналитическая оценка основных последствий пожаров по основным видам объектов во Вьетнаме за 2010–2021 гг. показала следующее: самым частым местом возникновения пожаров являются объекты жилого сектора, именно они определяют основную динамику пожаров во Вьетнаме, на которые приходится 55,8 % всех пожаров в стране, 38,5 % прямого ущерба, 48,9 % гибели и 50,8 % травмированных людей.

Использование метода наименьших квадратов позволяет построить аппроксимирующие функции распределения случайных величин (количество пожаров, число погибших и прямой ущерб) по годам. Основным смыслом этого метода заключается в том, что сумма квадратов отклонений между эмпирическими и теоретическими значениями стремится к минимуму. Чем меньше отклонение между эмпирическими и теоретическими значениями, тем точнее будет прогноз на основе уравнения регрессии [8–10].

Для построения аппроксимирующей функции рассматривались следующие виды уравнений:

линейное уравнение:

$$y = f(x) = ax + b;$$

экспоненциальное уравнение:

$$y = f(x) = a \cdot e^{b \cdot x};$$

квадратичное уравнение:

$$y = f(x) = a_2 x^2 + a_1 x + a_0.$$

С использованием метода наименьших квадратов, полученные аппроксимирующие функции количества пожаров, количества погибших и прямого ущерба от пожаров представлены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что самый наименьший квадрат отклонения между эмпирическими и теоретическими значениями для всех случайных величин (количество пожаров, погибших и прямой ущерб) соответствует уравнению квадратичной аппроксимации. Значит, наиболее подходящей является квадратичная аппроксимирующая функция вида:  $y = f(x) = a_2 x^2 + a_1 x + a_0$ .

На основании исследуемых показателей пожарной обстановки во Вьетнаме в 2010–2021 гг. предоставлен прогноз этих показателей на 2022 и 2023 гг. [8–10].

**Таблица 4. Аппроксимирующие функции основных показателей пожарной обстановки во Вьетнаме (период исследования: 2010–2021 гг.)**

| Наименование показателей                               | Функция аппроксимации                          | Значение суммы квадратов отклонений |
|--|--|-------------------------------------|
| 1  | 2  | 3                                   |
| Количество пожаров во Вьетнаме за период 2010–2021 гг. | $y = f(x) = 144,143x + 1777,985$               | $\sum \varepsilon_i^2 = 4612296$    |
|  | $y = f(x) = 1787,751 \cdot e^{0,0575 \cdot x}$ | $\sum \varepsilon_i^2 = 5173590$    |
|  | $y = f(x) = -39,225x^2 + 654,07x + 588,16$     | $\sum \delta_i^2 = 2558774$         |

| 1   | 2  | 3                                |
|---|--|----------------------------------|
| Количество погибших при пожарах во Вьетнаме за период 2010–2021 гг. | $y = f(x) = 2,122x + 66,121$                 | $\sum e_i^2 = 1702,78$           |
|   | $y = f(x) = 65,518 \cdot e^{0,028 \cdot x}$  | $\sum \varepsilon_i^2 = 1755,05$ |
|   | $y = f(x) = -0,466x^2 + 8,184x + 51,977$     | $\sum \delta_i^2 = 1412,6$       |
| Прямой ущерб от пожаров во Вьетнаме за период 2010–2021 гг.         | $y = f(x) = 1,13x + 43,874$                  | $\sum e_i^2 = 3081,63$           |
|   | $y = f(x) = 39,923 \cdot e^{0,0291 \cdot x}$ | $\sum \varepsilon_i^2 = 3249,55$ |
|   | $y = f(x) = -1,21x^2 + 16,86x + 7,171$       | $\sum \delta_i^2 = 1127,58$      |

На рис. 1 представлена динамика количества пожаров во Вьетнаме в городах и сельской местности за период 2010–2021 гг. С 2010 по 2018 г. количество пожаров имеет тенденцию к увеличению, а затем постепенному снижению.

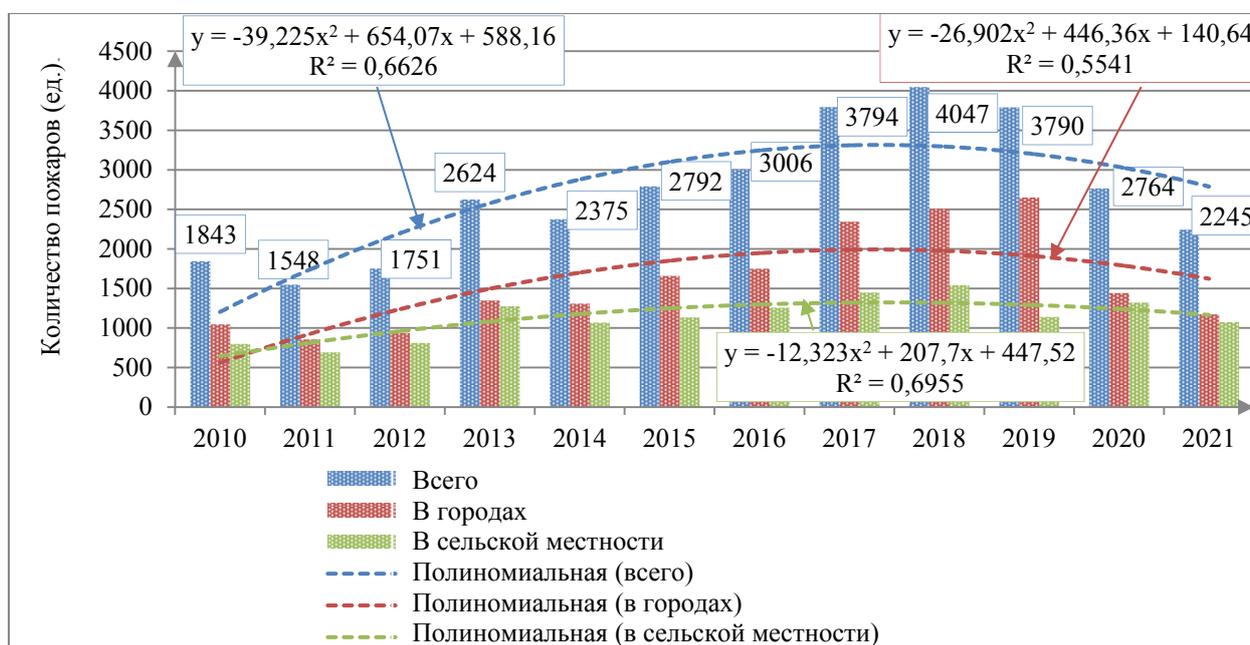


Рис. 1. Динамика пожаров во Вьетнаме

Количество пожаров за период 2010–2021 гг. выражается квадратичной функцией (рис. 1). Из приведенного расчета получены следующие коэффициенты:  $a_2 = -39,225$ ;  $a_1 = 654,07$ ;  $a_0 = 588,16$ . Тогда имеем следующее уравнение:

$$y = -39,225x^2 + 654,07x + 588,16; \quad (1)$$

$$R^2 = 0,6626.$$

Проведённый анализ показал, что во Вьетнаме в 2022 г. ожидается  $2462 \pm 1681$  пожаров, а в 2023 г. –  $2057 \pm 1739$  пожаров. Полученный коэффициент детерминации  $R^2 = 0,6626$ , коэффициент корреляции  $r_{xy} = 0,814$  с достоверностью  $P > 81\%$ . Следовательно, функция (1) относится к 81 % вероятности.

В табл. 5 представлены полученные аппроксимирующие функции и прогнозные значения количества пожаров в городах и сельской местности Вьетнама.

Таблица 5. Аппроксимирующие функции и прогнозные значения количества пожаров в городах и сельской местности Вьетнама

| Тип территориальных единиц | Аппроксимирующая функция            | Прогнозирование |               | Коэффициент детерминации $R^2$ | Коэффициент корреляции $r_{xy}$ |
|----------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
|                            |                                     | 2022 г. (ед.)   | 2023 г. (ед.) |                                |                                 |
| В городах                  | $y = -26,902x^2 + 446,36x + 140,64$ | 1397±1430       | 1117±1480     | 0,5514                         | 0,744<br>( $P > 74\%$ )         |
| В сельской местности       | $y = -12,323x^2 + 207,7x + 447,52$  | 1065±504        | 940±522       | 0,6955                         | 0,834<br>( $P > 83\%$ )         |

На рис. 2 представлена динамика количества погибших при пожарах во Вьетнаме за период 2010–2021 гг. В городах за последние 12 лет усматривается тенденция к увеличению гибели людей, а в сельской местности к снижению.

Количество погибших при пожарах за период 2010–2021 гг. выражается квадратичной функцией (рис. 1). Из приведенного расчета получены следующие коэффициенты:  $a_2 = -0,4663$ ;  $a_1 = 8,1841$ ,  $a_0 = 51,977$ . Тогда имеем следующее уравнение:

$$y = -0,4663x^2 + 8,1841x + 51,977; \quad (2)$$

$$R^2 = 0,3981.$$

Проведённый анализ показал, что во Вьетнаме в 2022 г. ожидается  $80 \pm 39$  погибших при пожарах, а в 2023 г. –  $76 \pm 41$  погибших. Полученный коэффициент детерминации  $R^2 = 0,3981$  и коэффициент корреляции  $r_{xy} = 0,631$  с достоверностью  $P > 63\%$ . Следовательно, функция (2) относится к 63 % вероятности.

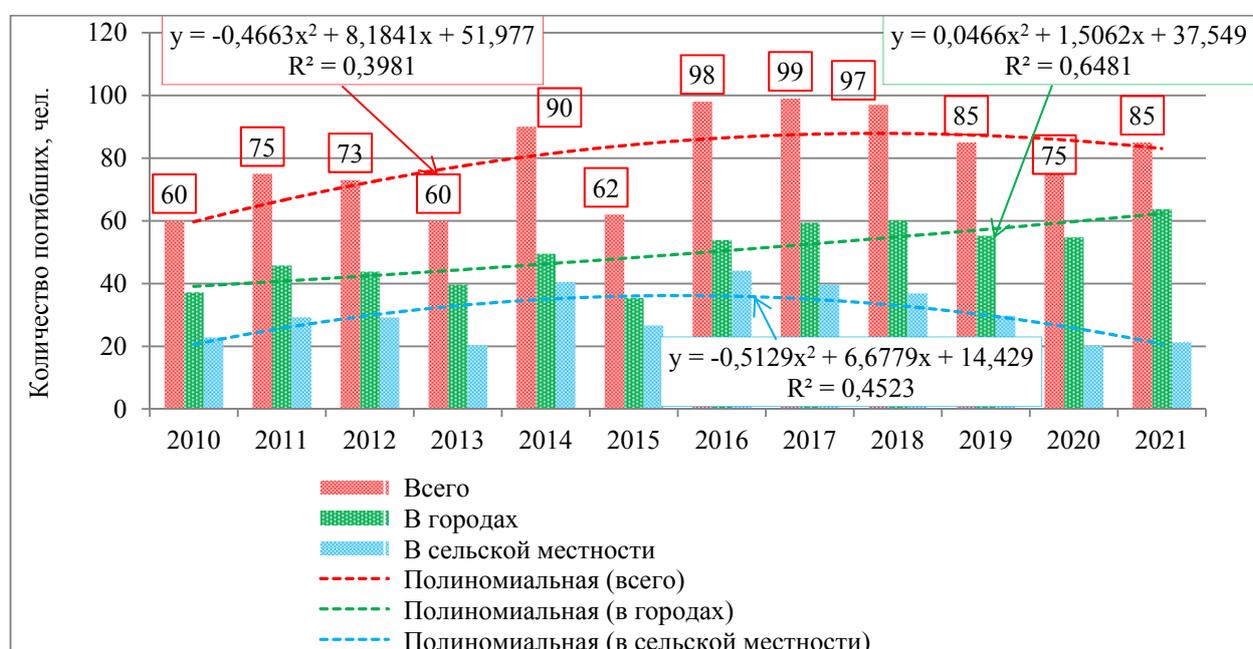


Рис. 2. Динамика количества погибших при пожарах во Вьетнаме

В табл. 6 представлены полученные аппроксимирующие функции и прогнозные значения количества погибших в городах и сельской местности Вьетнама.

Таблица 6. Аппроксимирующие функции и прогнозные значения количества погибших в городах и сельской местности Вьетнама

| Тип территориальных единиц | Аппроксимирующая функция     | Прогнозирование |                | Коэффициент детерминации $R^2$ | Коэффициент корреляции $r_{xy}$ |
|----------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------------|---------------------------------|
|                            |                              | 2022 г. (чел.)  | 2023 г. (чел.) |                                |                                 |
| В городах                  | $y=0,0466x^2+1,5062x+37,549$ | $65\pm 20$      | $68\pm 21$     | 0,6481                         | 0,805<br>( $P>80\%$ )           |
| В сельской местности       | $y=-0,5129x^2+6,6779x+4,429$ | $15\pm 22$      | $7\pm 23$      | 0,4523                         | 0,673<br>( $P>67\%$ )           |

Пожар имеет серьезные последствия не только для жизни человека, но и несет большие экономические потери. За последние годы в городах и сельской местности прямой ущерб от пожаров во Вьетнаме заметно снизился. На рис. 3 приведена динамика прямого ущерба от пожаров, произошедших во Вьетнаме в 2010–2021 гг.

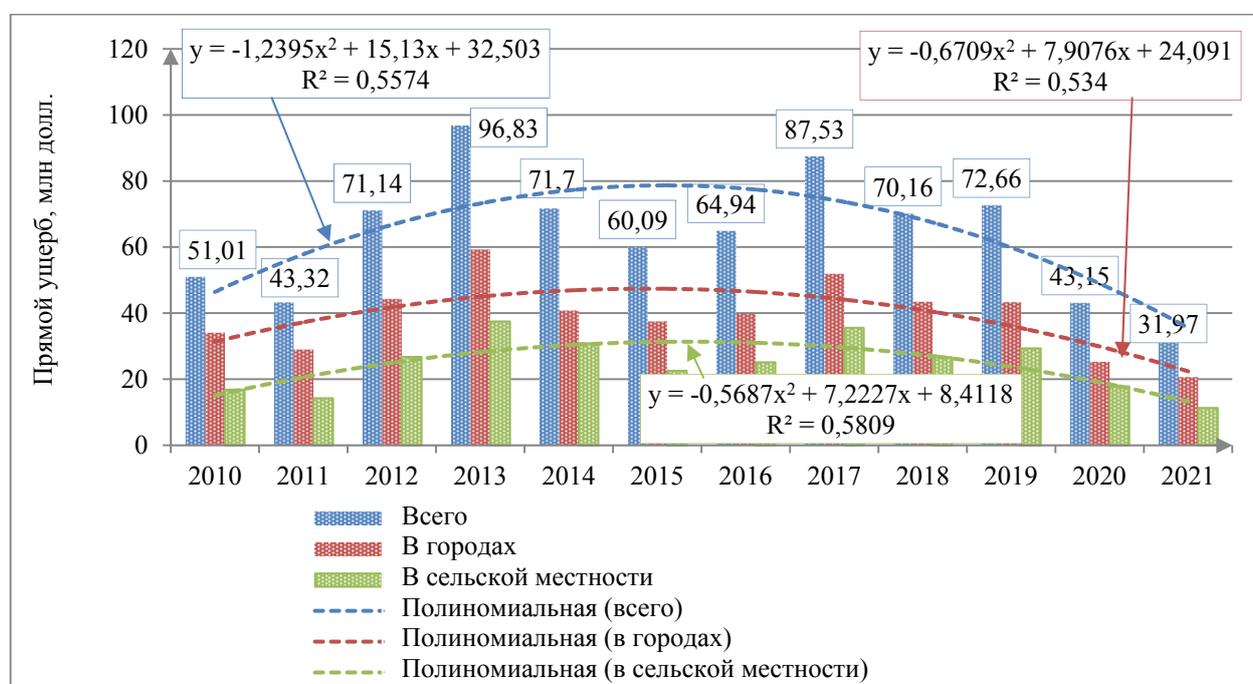


Рис. 3. Динамика прямого ущерба от пожаров во Вьетнаме

Зависимость прямого ущерба от пожаров во Вьетнаме за период 2010–2021 гг., выражается квадратичной функцией при следующих коэффициентах:  $a_2 = -1,2395$ ;  $a_1 = 15,13$ ,  $a_0 = 32,503$ .

$$y = -1,24x^2 + 15,13x + 32,5; \quad (3)$$

$$R^2 = 0,5574 .$$

Проведённый анализ показал, что прямой ущерб во Вьетнаме в 2022 г. ожидается  $19,72\pm 43,81$  млн долл., в 2023 г. –  $13,8\pm 45,34$  млн долл. Полученный коэффициент детерминации  $R^2 = 0,5574$ , коэффициент корреляции  $r_{xy} = 0,747$  с достоверностью  $P > 74\%$ . Следовательно, функция (3) относится к 74 % вероятности.

В табл. 7 представлены полученные аппроксимирующие функции и прогнозные значения прямого ущерба от пожаров в городах и сельской местности Вьетнама.

Таблица 7. Аппроксимирующие функции и прогнозные значения прямого ущерба от пожаров в городах и сельской местности Вьетнама

| Тип территориальных единиц | Аппроксимирующая функция   | Прогнозирование     |                     | Коэффициент детерминации $R^2$ | Коэффициент корреляции $r_{xy}$ |
|----------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------|
|                            |                            | 2022 г. (млн долл.) | 2023 г. (млн долл.) |                                |                                 |
| В городах                  | $y=-,671x^2+7,908x+24,091$ | 13,51±25,89         | 3,31±26,79          | 0,534                          | 0,731<br>$P>73\%$               |
| В сельской местности       | $y=-0,569x^2+7,223x+8,412$ | 6,2±18,63           | 1,93±19,28          | 0,581                          | 0,762<br>$P>76\%$               |

Всестороннее исследование состояния пожарной обстановки во Вьетнаме за 2010–2021 гг. позволило ранжировать в процентах их распределение по причинам возникновения, которое представлено на рис. 4 [1–3, 11].

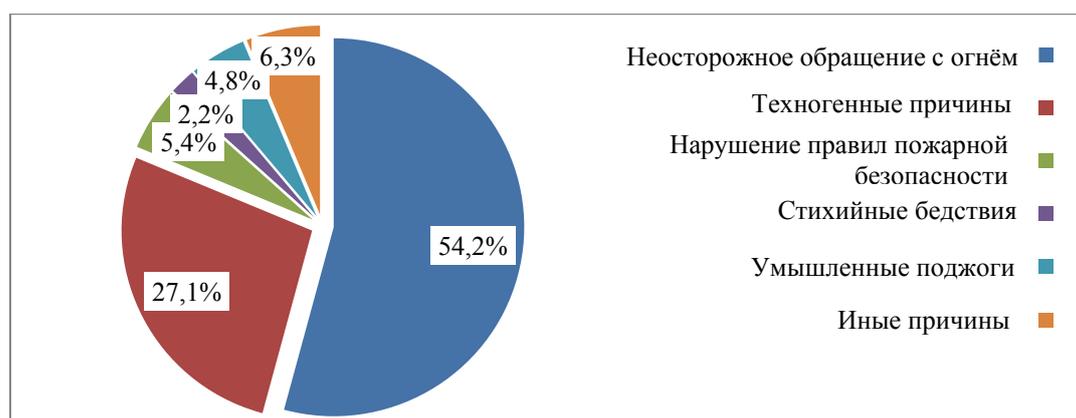


Рис. 4. Процентное распределение причин пожаров во Вьетнаме

Анализ причин пожаров во Вьетнаме за период 2010–2021 гг. показывает, что основная причина – неосторожное обращение с огнем 54,2 % (использование огня, электрического оборудования, топлива, газа и т.д.). Вторая частая причина возникновения пожаров – это техногенные пожары (27,1 %), а на иные причины приходится 6,3 % от общего числа пожаров.

На рис. 5 представлены средние значения числа погибших на 100 пожарах по 33 странам мира [2, 3, 12–14]. Видно, что в периоде с 2010 по 2021 г. Вьетнам занимал седьмое место по значению числа погибших, где среднее значение составляет 1,4 чел. Установлено, что количество пожаров во Вьетнаме намного меньше, чем в других странах, но число погибших на 100 пожарах выше.

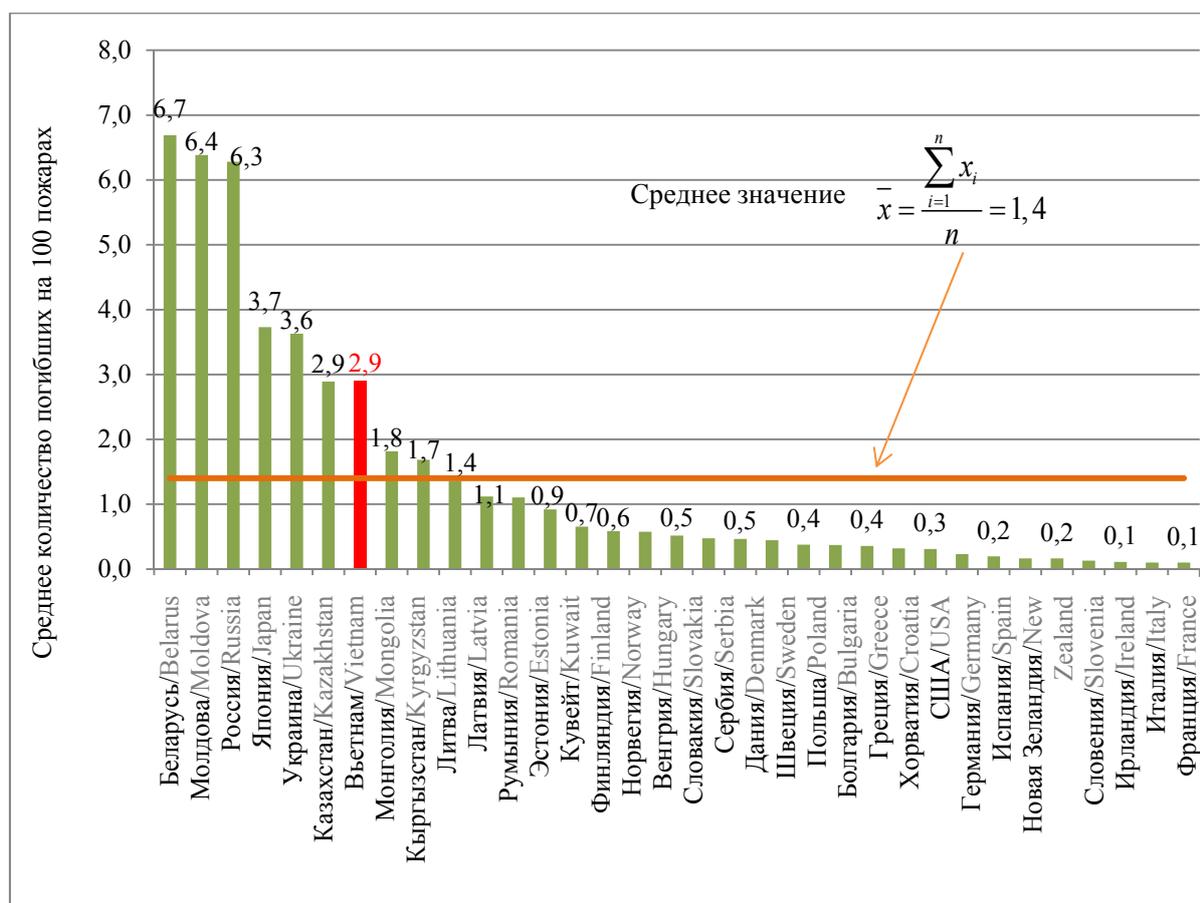


Рис. 5. Средние значения числа погибших на 100 пожаров по ряду стран за период 2010–2021 гг.

### Заключение

Результат анализа статистики о последствиях пожаров во Вьетнаме за период 2010–2021 гг. показывает, что состояние пожарной обстановки неудовлетворительное. Число погибших людей на 100 пожаров во Вьетнаме вдвое выше, чем среднее число погибших среди 33 стран мира. Среднегодовое количество пожаров во Вьетнаме с 2010 по 2021 г. свыше 2700 пож.год<sup>-1</sup>, в том числе в городах, составляет 58,4 %, в сельской местности – 41,6 %. Прямой ущерб по Вьетнаму в среднем составляет 63,71 млн долл.год<sup>-1</sup>, а гибель людей 80 чел.год<sup>-1</sup>, травмировано при пожаре 180 чел.год<sup>-1</sup>. Построены аппроксимирующие функции (тренды) основных показателей последствий пожаров. Получен прогноз по основным показателям, таким как: количество пожаров, погибшие и материальный ущерб в целом, в городах и в сельской местности Вьетнама на 2022 и 2023 гг. Получены результаты последствий пожаров, которые могут определять рамки исследований, характеризующих пути снижения пожарных рисков, уменьшение ущерба от пожаров и совершенствование организационно-технических мероприятий, обеспечивающих пожарную безопасность во Вьетнаме.

### Список источников

1. Отчёт Главного статистического управления Вьетнама о социально-экономическом положении за 2010–2021 гг. Ханой, 2020. 270 с.
2. Отчёт по противопожарной работе Главного управления пожарной охраны и аварийно-спасательных служб МОБ Вьетнама за 2010–2021 гг. Ханой, 2015. 115 с.
3. Дао А.Т. Анализ пожарной обстановки во Вьетнаме в 2001–2015 годах // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. 2016. Вып. № 5 (69). 7 с.

4. Социальные, экономические и экологические последствия пожаров в муниципальных центрах Сибирского федерального округа: анализ, оценка, прогноз: монография / С.С. Тимофеева [и др.]. Иркутск: Аспринт, 2010. 169 с.
5. Основы теории пожарных рисков и ее приложение / Н.Н. Брушлинский [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 192 с.
6. Брушлинский Н.Н. Пожарные риски. Основные понятия. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004. Вып. 1. 57 с.
7. Харисов Г.Х., Фирсов А.В. Обоснование нормативного значения и расчетной величины индивидуального пожарного риска в зданиях и сооружениях. М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. 225 с.
8. Брушлинский Н.Н., Шебеко Ю.Н. Динамика, управление, прогнозирование. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2007. 370 с.
9. Коломиец Л.В., Поникарова Н.Ю. Метод наименьших квадратов: метод. указания / сост.: Л.В. Коломиец, Н.Ю. Поникарова. Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. 32 с.
10. Чирухин В.А. Применение метода наименьших квадратов для аппроксимации периодических процессов при построении прогнозов // Записки Горного института: сб. науч. трудов. 2014. Т. 208. С. 197–202.
11. Минаев В.А., Тростянский С.Н., Чу К.М. Оценка вероятности возникновения пожаров при нарушениях требований пожарной безопасности // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. 2013. Вып. № 5 (51). 7 с.
12. World Fire Statistics. Report / N.N. Brushlinsky [et al.]. M.: Academy of State fire service of EMERCOM of Russia, 2015. № 20. 63 p.
13. World Fire Statistics. Report / N.N. Brushlinsky [et al.]. M.: Academy of State fire service of EMERCOM of Russia, 2020. № 25. 67 p.
14. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Григорьева М.П. Анализ основных пожарных рисков в мире и в России // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 2. С. 72–80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.72-80.

## References

1. Otchyot Glavnogo statisticheskogo upravlenie V'etnama o social'no-ekonomicheskom polozhenii za 2010–2021 gg. Hanoj, 2020. 270 s.
2. Otchyot po protivopozharnoj rabote Glavnogo upravleniya pozharnoj ohrany i avarijno-spasatel'nyh sluzhb MOB V'etnama za 2010–2021 gg. Hanoj, 2015. 115 s.
3. Dao A.T. Analiz pozharnoj obstanovki vo V'etname v 2001–2015 godah // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti: Internet-zhurnal. 2016. Vyp. № 5 (69). 7 s.
4. Social'nye, ekonomicheskie i ekologicheskie posledstviya pozharov v municipal'nyh centrakh Sibirskogo federal'nogo okruga: analiz, ocenka, prognoz: monografiya / S.S. Timofeeva [i dr.]. Irkutsk: Asprint, 2010. 169 s.
5. Osnovy teorii pozharnyh riskov i ee prilozhenie / N.N. Brushlinskij [i dr.]. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2012. 192 s.
6. Brushlinskij N.N. Pozharnye riski. Osnovnye ponyatiya. M.: FGU VNIPO MCHS Rossii, 2004. Vyp. 1. 57 s.
7. Harisov G.H., Firsov A.V. Obosnovanie normativnogo znacheniya i raschetnoj velichiny individual'nogo pozharnogo riska v zdaniyah i sooruzheniyah. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2014. 225 s.
8. Brushlinskij N.N., Shebeko Yu.N. Dinamika, upravlenie, prognozirovanie. M.: FGU VNIPO MCHS Rossii, 2007. 370 s.
9. Kolomiec L.V., Ponikarova N.Yu. Metod naimen'shih kvadratov: metod. ukazaniya / sost.: L.V. Kolomiec, N.Yu. Ponikarova. Samara: Izd-vo Samarskogo universiteta, 2017. 32 s.
10. Chiruhin V.A. Primenenie metoda naimen'shih kvadratov dlya approksimacii periodicheskikh processov pri postroenii prognozov // Zapiski Gornogo instituta: sb. nauch. trudov. 2014. T. 208. S. 197–202.

11. Minaev V.A., Trostyanskij S.N., Chu K.M. Ocenka veroyatnosti vznikoveniya pozharov pri narusheniyah trebovanij pozharnoj bezopasnosti // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti: Internet-zhurnal. 2013. Vyp. № 5 (51). 7 s.
12. World Fire Statistics. Report / N.N. Brushlinsky [et al.]. M.: Academy of State fire service of EMERCOM of Russia, 2015. № 20. 63 p.
13. World Fire Statistics. Report / N.N. Brushlinsky [et al.]. M.: Academy of State fire service of EMERCOM of Russia, 2020. № 25. 67 p.
14. Brushlinskij N.N., Sokolov S.V., Grigor'eva M.P. Analiz osnovnyh pozharnyh riskov v mire i v Rossii // Pozharovzryvobezopasnost'. 2017. T. 26. № 2. S. 72–80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.72-80.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 29.09.2022; одобрена после рецензирования: 10.10.2022; принята к публикации: 29.10.2022

**Information about the article:**

The article was submitted to the editorial office: 29.09.2022; approved after review: 10.10.2022; accepted for publication: 29.10.2022

*Информация об авторах:*

**Присяжнюк Николай Леонидович**, профессор кафедры организации деятельности пожарной охраны Академии ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), кандидат технических наук, e-mail: [nlp009@mail.ru](mailto:nlp009@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9039-9374>

**Чьонг Ван Хынг**, адъюнкт специального факультета по работе с иностранцами гражданами ИПИГ Академии ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), e-mail: [vanhungbm5t34@gmail.com](mailto:vanhungbm5t34@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4314-4410>

*Information about authors:*

**Prisyazhnyuk Nikolay L.**, professor of the department of organization of fire protection activities Academy of State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Borisa Galushkina, st., 4), candidate of technical sciences, e-mail: [nlp009@mail.ru](mailto:nlp009@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9039-9374>

**Truong Van Hung**, postgraduate student of the special faculty for work with foreign citizens of IPIG Academy of State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Borisa Galushkina, st., 4), e-mail: [vanhungbm5t34@gmail.com](mailto:vanhungbm5t34@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4314-4410>

---

---

# БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

---

---

Научная статья

УДК 614.844.1

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОРОШКОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ МЕТОДОМ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ

✉ Сыздыков Максим Равильевич;

Иванов Андрей Владимирович.

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

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

*Аннотация.* Предприятия нефтегазовой отрасли относятся к пожароопасным объектам. Рост количества объектов промышленности нефтегазового комплекса как никогда остро ставит вопросы обеспечения их пожарной безопасности. Основными пожарами, возникающими на объектах нефтегазового комплекса, являются пожары класса В (горение жидких веществ: бензин, спирты, растворители, нефтепродукты). Для тушения таких пожаров возможно применение технических средств порошкового пожаротушения, в том числе автоматических модульных установок. Серьезным недостатком таких установок специалисты называют отсутствие запаса огнетушащего порошка для защиты от повторного воспламенения. В связи с этим особое внимание необходимо уделять эффективности технических средств порошкового пожаротушения, для достижения ими 100 % результата тушения пожара.

Рассмотрены методики оценки эффективности технических средств порошкового пожаротушения. Проведена экспертная оценка технических параметров модулей порошкового пожаротушения. На основании полученных данных проведена оценка имеющихся на рынке Российской Федерации модулей порошкового пожаротушения импульсного действия.

*Ключевые слова:* технические средства порошкового пожаротушения, модуль порошкового пожаротушения, пожар, технические параметры, экспертная оценка

**Для цитирования:** Сыздыков М.Р., Иванов А.В. Оценка эффективности технических средств порошкового пожаротушения методом экспертной оценки // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 13–19.

## EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF TECHNICAL MEANS OF POWDER FIRE EXTINGUISHING BY EXPERT EVALUATION

✉ Sytdykov Maxim R.;

Ivanov Andrey V.

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

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

*Abstract.* Oil and gas industry enterprises are classified as fire-hazardous facilities. The growth in the number of oil and gas industry facilities raises issues of ensuring their fire safety as never before. The main fires that occur at the facilities of the oil and gas complex are class B fires – gorenje liquid

substances (gasoline, alcohols, solvents, petroleum products). To extinguish such fires, it is possible to use technical means of powder fire extinguishing, including automatic modular installations. Experts call a serious disadvantage of such installations the lack of a supply of extinguishing powder to protect against re-ignition. In this regard, special attention should be paid to the effectiveness of technical means of powder fire extinguishing, in order to achieve 100 % of the fire extinguishing result.

The paper considers methods for evaluating the effectiveness of technical means of powder fire extinguishing. An expert assessment of the technical parameters of powder fire extinguishing modules was carried out. Based on the data obtained, the evaluation of pulsed powder fire extinguishing modules available on the market of the Russian Federation was carried out.

*Keywords:* technical means of powder fire extinguishing, powder fire extinguishing module, fire, technical parameters, expert assessment

**For citation:** Sytdykov M.R., Ivanov A.V. Evaluation of the effectiveness of technical means of powder fire extinguishing by the method of expert evaluation // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 4. P. 13–19.

## Введение

На территории Российской Федерации в 2020–2021 гг. на складах хранения сжиженных углеводородов и газов (СУГ) произошло 70 пожаров [1]. Для защиты таких складов от пожаров применяются установки порошкового пожаротушения модульного типа (далее – установки) [2, 3]. Основным элементом установки, влияющим на эффективность тушения пожара, является модуль порошкового пожаротушения (МПП), техническое средство, в корпусе которого совмещены функции хранения и подачи огнетушащего вещества (ОВ) при воздействии исполнительного импульса на пусковой элемент [4]. Данные о работе по тушению пожаров такими установками представлены на рис. 1.

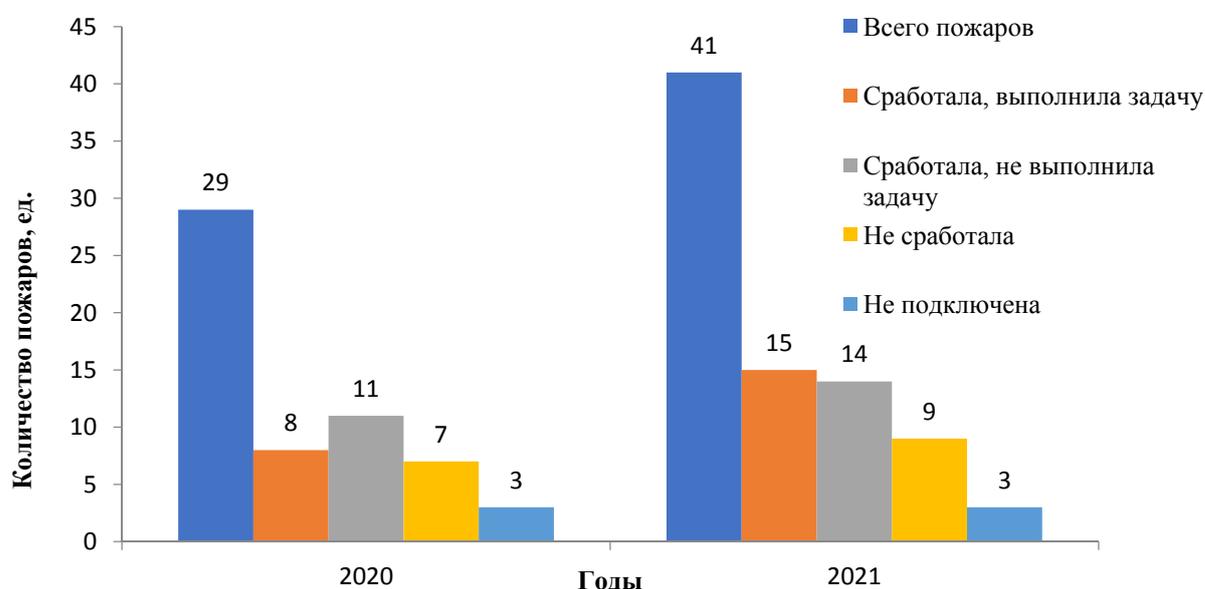


Рис. 1. Данные о работе МПП на пожарах СУГ в 2020–2021 гг. [1]

Из представленных данных видно, что в 30 % случаев возникновения пожаров установки срабатывают, но возгорание потушить не могут, что свидетельствует о низкой эффективности некоторых МПП.

В связи с этим возникает необходимость проведения оценки их эффективности. Под эффективностью авторами понимается способность МПП тушить пожары с наименьшим расходом ОТВ.

В работах [5–7] проведены оценки эффективности порошковых огнетушителей и установок порошкового тушения на пожарных автомобилях [8] известными общепринятыми методами: диаграммой Парето, методом анализа размерностей и методом аналогии. В работе [9] проведена сравнительная оценка технической эффективности использования порошковых составов техническими средствами порошкового пожаротушения в зависимости от способов вытеснения ОТВ. В тоже время оценка эффективности МПП не проводилась.

В статье рассмотрен метод экспертной оценки как способ оценивания эффективности МПП [10–12]. Несмотря на субъективизм данного метода, проведение такой оценки необходимо для дальнейшего сравнения с другими, подтверждения или опровержения полученных данных и конечного выбора метода, позволяющего минимизировать финансовые, временные и другие затраты при оснащении объектов нефтегазового комплекса техническими средствами порошкового пожаротушения.

### Оценка эффективности МПП методом экспертной оценки

Оценка технических параметров МПП при тушении пожаров СУГ выполнена на основе экспертных оценок пяти специалистов, обобщенные сведения о которых представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сведения об экспертах, привлеченных к опросу

| Занимаемая должность  | Стаж работы, лет | Количество |
|---|------------------|------------|
| Заместитель начальника Главного управления МЧС России (по надзорной деятельности) | 25               | 1          |
| Заместитель начальника специального управления ФПС МЧС России                     | 19               | 1          |
| Начальник службы пожаротушения специального управления ФПС МЧС России             | 22               | 1          |
| Начальник отдела надзорной деятельности   | 12               | 1          |
| Начальник управления организации пожаротушения Главного управления МЧС России     | 14               | 1          |

В опросном листе представлены 10 технических параметров, перечень которых сформирован на основании нормативной документации по МПП [4]. Эксперты определяли наиболее важный для оценки эффективности тушения пожаров класса В в зависимости от значимости того или иного технического параметра. Каждый из экспертов проставил ранги от 1 до 10. При этом рангу 1 соответствует самый важный параметр, рангу 10 – наименее важный. В случае если эксперт считает параметры равноценными, то их значение определяется как среднее их суммы. Первичные результаты опроса представлены в табл. 2.

Так как полного согласия между экспертами нет, приведенные данные подвергаются более тщательному математическому анализу с применением метода средних арифметических рангов и метода медиан рангов. Уточненные данные приведены в табл. 3.

Таблица 2. Ранги технических параметров МПП

| № п/п | Наименование технического параметра              | Ранги      |     |    |    |    | Сумма рангов |
|-------|--|------------|-----|----|----|----|--------------|
|       |  | № эксперта |     |    |    |    |              |
|       |  | 1          | 2   | 3  | 4  | 5  |              |
| 1     | 2  | 3          | 4   | 5  | 6  | 7  | 8            |
| 1     | Время срабатывания устройства, с                 | 6          | 4   | 5  | 1  | 9  | 25           |
| 2     | Длина струи порошка, м                           | 5          | 5   | 6  | 10 | 8  | 34           |
| 3     | Защищаемая площадь, м <sup>2</sup>               | 2          | 1,5 | 7  | 3  | 5  | 18,5         |
| 4     | Защищаемый объем, м <sup>3</sup>                 | 1          | 1,5 | 8  | 4  | 6  | 20,5         |
| 5     | Масса устройства, кг                             | 9          | 9   | 9  | 8  | 10 | 45           |
| 6     | Масса остатка порошка, кг                        | 3          | 6   | 3  | 9  | 2  | 23           |
| 7     | Масса порошка, кг                                | 8          | 8   | 1  | 2  | 3  | 22           |
| 8     | Объем устройства, м <sup>3</sup>                 | 10         | 10  | 10 | 6  | 7  | 43           |
| 9     | Рабочее давление, МПа                            | 7          | 7   | 4  | 5  | 4  | 27           |
| 10    | Расход ОТВ при тушении пожара, кг/м <sup>2</sup> | 4          | 3   | 2  | 7  | 1  | 17           |

Таблица 3. Результаты расчетов по методу средних арифметических и методу медиан для рангов

| № п/п | Наименование технического параметра | Сумма рангов | Среднее арифметическое рангов | Итоговый ранг по среднему арифметическому | Медианы рангов | Итоговый ранг по медианам | Итоговый ранг |
|-------|-------------------------------------|--------------|-------------------------------|---|----------------|---------------------------|---------------|
| 1     | Время срабатывания устройства       | 25           | 5                             | 6   | 5              | 4,5                       | 6             |
| 2     | Длина струи порошка                 | 34           | 6,8                           | 8   | 6              | 5                         | 8             |
| 3     | Защищаемая площадь                  | 18,5         | 3,7                           | 2   | 3              | 3                         | 2             |
| 4     | Защищаемый объем                    | 20,5         | 4,1                           | 3   | 3              | 3                         | 3             |
| 5     | Масса устройства                    | 45           | 9                             | 10  | 9              | 6                         | 9,5           |
| 6     | Масса остатка порошка               | 23           | 4,6                           | 5   | 3              | 3                         | 5             |
| 7     | Масса порошка                       | 22           | 4,4                           | 4   | 3              | 3                         | 4             |
| 8     | Объем устройства                    | 43           | 8,6                           | 9   | 10             | 7                         | 9,5           |
| 9     | Рабочее давление                    | 27           | 5,4                           | 7   | 5              | 4,5                       | 7             |
| 10    | Расход ОТВ при тушении пожара       | 17           | 3,4                           | 1   | 3              | 3                         | 1             |

На основании полученных значений была проведена оценка представленных на рынке Российской Федерации МПП. Оценка проведена по сумме рангов технических параметров, где наименьшее численное значение соответствует лучшему результату. Рабочие параметры оцениваемых МПП представлены в табл. 4.

Таблица 4. Рабочие параметры оцениваемых МПП

| Наименование устройства | Численные значения рабочих параметров МПП, соответствующих номеру технического параметра в табл. 2 |    |      |    |      |      |      |     |      |      |
|-------------------------|--|----|------|----|------|------|------|-----|------|------|
|                         | 1  | 2  | 3    | 4  | 5    | 6    | 7    | 8   | 9    | 10   |
| Тунгус-4                | 10   | 9  | 16   | 27 | 7    | 0,4  | 4    | 4,3 | 2,4  | 0,41 |
| Тунгус-6                | 10   | 9  | 25   | 33 | 10   | 0,6  | 6    | 6,5 | 2,4  | 0,38 |
| Тунгус-9                | 10   | 13 | 33   | 42 | 13   | 0,86 | 8,6  | 9   | 2,2  | 0,37 |
| Тунгус-10               | 10   | 16 | 18,3 | 75 | 20   | 0,95 | 9,5  | 9,2 | 2    | 1,04 |
| МПП-6 Смерч             | 10   | 9  | 18   | 18 | 10,7 | 0,7  | 5,7  | 6   | 0,85 | 0,56 |
| Ураган-3                | 10   | 11 | 14   | 14 | 5,85 | 0,3  | 3    | 3,5 | 2    | 0,4  |
| Ураган-5М               | 10   | 16 | 40   | 54 | 10   | 0,55 | 5,5  | 6,5 | 2    | 0,24 |
| Буран-8                 | 10   | 6  | 21   | 42 | 11,3 | 0,7  | 7    | 7,8 | 1,2  | 0,5  |
| Гарант-12               | 10   | 12 | 25   | 50 | 19,9 | 1,08 | 10,8 | 12  | 1,8  | 0,75 |
| Бизон                   | 15   | 6  | 30   | 60 | 36,5 | 0,82 | 7,8  | 8   | 1,6  | 1,19 |

Итоговые результаты оценки эффективности МПП представлены в табл. 5.

Таблица 5. Результаты оценки эффективности МПП

| Наименование устройства | Сумма рангов | Итоговое значение |
|-------------------------|--------------|-------------------|
| Тунгус-4                | 43,5         | 3                 |
| Тунгус-6                | 45           | 4                 |
| Тунгус-9                | 51,5         | 5                 |
| Тунгус-10               | 64,5         | 7,5               |
| МПП-6 Смерч             | 63,5         | 6                 |
| Ураган-3                | 43           | 2                 |
| Ураган-5М               | 30,5         | 1                 |
| Буран-8                 | 64,5         | 7,5               |
| Гарант-12               | 70,5         | 9                 |
| Бизон                   | 73,5         | 10                |

Из полученных данных видно, что наиболее эффективными являются МПП, имеющие торговые марки «Ураган-5М» и «Ураган-3». Данные модули имеют наименьшие массу и расход ОТВ при наибольших защищаемых от пожара площади и объема.

### Заключение

Результаты проведенной экспертной оценки эффективности МПП показывают:

- наиболее важными техническими параметрами являются расход ОТВ, масса модуля, защищаемый от пожара объем и площадь;
- наиболее эффективными оказались МПП, имеющие торговые марки «Ураган-5М» и «Ураган-3».

В связи с субъективизмом данного метода, необходимо провести оценку эффективности МПП описанными в работах [5–8] методами, а также методом регрессивного анализа.

### Список источников

1. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: ст. сборник. Балашиха: П 46 ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
2. Маклецов А.К. Современные системы порошкового пожаротушения // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2014. № 1 (10). С. 26–31.

3. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (утв. приказом МЧС России от 25 марта 2009 г. № 175; в ред. от 1 июня 2011 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. ГОСТ Р 53286–2009. Установки порошкового пожаротушения автоматические. Модули // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071861> (дата обращения: 27.10.2022).

5. Кожевин Д.Ф. Методика комплексной оценки эффективности огнетушителей (применительно к пожароопасным производственным объектам нефтебаз): дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2011. 120 с.

6. Сытдыков М.Р. Методика оценки эффективности порошкового огнетушителя со встроенной пористой емкостью (применительно к пожароопасным производственным объектам нефтебаз): дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2013. 170 с.

7. Сорокин И.А. Методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2022. С. 12.

8. Маркова Н.Б. Методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2022. С. 12.

9. Сытдыков М.Р., Кожевин Д.Ф., Иванов А.В. Оценка способов вытеснения огнетушащих веществ из средств пожаротушения, предназначенных для тушения углеводородов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 154–163.

10. Таранцев А.А., Шилин К.Ю. Методы многопараметрической оптимизации в задачах выбора решений: учеб.-метод. пособие. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России; ИИТ РАН, 2019. 31 с.

11. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: учеб.: в 3-х ч. Ч. 2: Экспертные оценки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 486 с.

12. Новиков В.Р. Применение метода экспертных оценок при выборе автомобилей категории М1G для оснащения подразделений МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 164–171.

## References

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu: st. sbornik. Balashiha: P 46 FGBU VNIPO MCHS Rossii, 2022. 114 s.

2. Maklecov A.K. Sovremennye sistemy poroshkovogo pozharotusheniya // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. 2014. № 1 (10). S. 26–31.

3. SP 5.13130.2009. Sistemy protivopozharnoj zashchity. Ustanovki pozharnoj signalizacii i pozharotusheniya avtomaticheskie. Normy i pravila proektirovaniya (utv. prikazom MCHS Rossii ot 25 marta 2009 g. № 175; v red. ot 1 iyunya 2011 g.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

4. GOST R 53286–2009. Ustanovki poroshkovogo pozharotusheniya avtomaticheskie. Moduli // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnichejskoj dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071861> (data obrashcheniya: 27.10.2022).

5. Kozhevin D.F. Metodika kompleksnoj ocenki effektivnosti ogetushitelej (primenitel'no k pozharoopasnym proizvodstvennym ob"ektam neftebaz): dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2011. 120 s.

6. Sytdykov M.R. Metodika ocenki effektivnosti poroshkovogo ogetushitelya so vstroennoj poristoj emkost'yu (primenitel'no k pozharoopasnym proizvodstvennym ob"ektam neftebaz): dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2013. 170 s.

7. Sorokin I.A. Metodika ocenki effektivnosti poroshkovyh ogetushitelej pri tushenii pozharov na ob"ektah neftegazovoj otrasli: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2022. S. 12.

8. Markova N.B. Metodika ocenki effektivnosti poroshkovyh ogetushitelej pri tushenii pozharov na ob"ektah neftegazovoj otrasli: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2022. S. 12.

9. Sytdykov M.R., Kozhevin D.F., Ivanov A.V. Ocenka sposobov vytesneniya ognetushashchih veshchestv iz sredstv pozharotusheniya, prednaznachennyh dlya tusheniya uglevodorodov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 2 (62). S. 154–163.

10. Tarancev A.A., Shilin K.Yu. Metody mnogoparametricheskoy optimizacii v zadachah vybora reshenij: ucheb.-metod. posobie. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii; IPT RAN, 2019. 31 s.

11. Orlov A.I. Organizacionno-ekonomicheskoe modelirovanie: ucheb.: v 3-h ch. Ch. 2: Ekspertnye ocenki. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2011. 486 s.

12. Novikov V.R. Primenenie metoda ekspertnyh ocenok pri vybore avtomobilej kategorii MIG dlya osnashcheniya podrazdelenij MCHS Rossii // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 2 (62). S. 164–171.

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 28.10.2022; одобрена после рецензирования: 08.11.2022; принята к публикации: 21.11.2022

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

The article was submitted to the editorial office: 28.10.2022; approved after review: 08.11.2022; accepted for publication: 21.11.2022

#### *Сведения об авторах:*

**Сытдыков Максим Равильевич**, начальник кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (Россия, 196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [sytdykov@igps.ru](mailto:sytdykov@igps.ru), <http://orcid.org/0000-0002-5343-4764>

**Иванов Андрей Владимирович**, преподаватель кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (Россия, 196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [andrei-ivanov84@mail.ru](mailto:andrei-ivanov84@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0001-7886-2039>

#### *Information about the authors:*

**Sydykov Maxim R.**, head of the department of fire, emergency and rescue automotive industry of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: [sytdykov@igps.ru](mailto:sytdykov@igps.ru), <http://orcid.org/0000-0002-5343-4764>

**Ivanov Andrey V.**, lecturer of the department of fire, emergency and rescue automotive industry of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail address: [andrei-ivanov84@mail.ru](mailto:andrei-ivanov84@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0001-7886-2039>

Научная статья

УДК 621.6.03

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РИСКОВ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

✉Скрыпникова Оксана Ивановна;

Щетка Владимир Федорович.

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

✉skrypnikova.oxana@yandex.ru

*Аннотация.* В связи с тем, что количество аварий на объектах транспортировки нефтепродуктов имеет тенденцию к увеличению, а также влечет за собой большие расходы на ликвидацию, человеческие жертвы, негативное воздействие на окружающую среду, то это свидетельствует об актуальности проблем обеспечения промышленной и пожарной безопасности на объектах данного типа. Учитывая, что аварии на таких объектах могут являться источниками чрезвычайных ситуаций, возникает необходимость в обеспечении управления промышленной безопасностью с целью минимизации возникновения аварийных ситуаций. При оценке риска возникновения аварий на объектах транспортировки нефтепродуктов возможно применение различных методов оценки риска, содержание которых определено в специализированных нормативных документах. Применение методов описано в общем виде, поэтому конкретизация выбора метода, предпочтительного при оценке риска возникновения аварий на объектах транспортировки нефтепродуктов, обладает определённой научной новизной. Обоснованное использование конкретного метода позволит обеспечить точность количественных оценок и, следовательно, повысить адекватность принимаемых решений при управлении риском.

В статье представлен обзор отечественных и зарубежных публикаций, в которых были использованы различные методы для оценки риска аварий, возникающих на объектах транспортировки нефтепродуктов, который показал, что во многих случаях сложность решаемых задач требует применения нескольких методов в совокупности.

*Ключевые слова:* аварийная ситуация, метод, объект транспортировки нефтепродуктов, оценка рисков, риск

**Для цитирования:** Скрыпникова О.И., Щетка В.Ф. Сравнительный анализ методов оценки рисков аварий на объектах транспортировки нефтепродуктов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 20–33.

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING THE RISKS OF ACCIDENTS AT OIL PRODUCTS TRANSPORTATION FACILITIES**

✉Skrypnikova Oksana I.;

Shchetka Vladimir F.

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

✉skrypnikova.oxana@yandex.ru

*Abstract.* Due to the fact that the number of accidents at oil products transportation facilities tends to increase, and also entails large liquidation costs, human casualties, negative impact on the environment, this indicates the urgency of the problems of ensuring industrial and fire safety at facilities of this type. Given that accidents at such facilities can be sources of emergencies, there is a need to ensure industrial safety management in order to minimize the occurrence of emergencies. When assessing the risk of accidents at oil products transportation facilities, it is possible to use various

risk assessment methods, the content of which is defined in specialized regulatory documents. The application of the methods is described in a general way, therefore, the specification of the choice of the method preferred when assessing the risk of accidents at oil products transportation facilities has a certain scientific novelty. Reasonable use of a specific method will ensure the accuracy of quantitative estimates and, consequently, increase the adequacy of decisions taken in risk management.

The article presents a review of domestic and foreign publications in which various methods were used to assess the risk of accidents occurring at oil products transportation facilities, which showed that in many cases the complexity of the tasks being solved requires the use of several methods in combination.

*Keywords:* emergency situation, method, object of transportation of petroleum products, risk assessment, risk

**For citation:** Skrypnikova O.I., Shchetka V.F. Comparative analysis of methods for assessing the risks of accidents at oil products transportation facilities // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 4. P. 20–33.

## Введение

Одной из ведущих отраслей экономики России является нефтяная промышленность, деятельность которой осуществляется с использованием объектов повышенной опасности. При эксплуатации данных объектов существует риск возникновения аварий, которые могут являться источниками чрезвычайных ситуаций (ЧС). Поэтому важной задачей является минимизация возможных рисков, решение которой во многом определяется их корректной оценкой с использованием различных методов. При этом актуальным является вопрос оценки рисков аварий на объектах транспортировки нефтепродуктов.

Транспортировать нефтепродукты возможно с помощью следующих видов транспорта [1–4]: трубопроводный, водный, железнодорожный, автомобильный. На рис. 1. представлены возможные объекты транспортировки нефтепродуктов, относящиеся к каждому виду транспорта.

Проведенный анализ особенностей транспортировки нефтепродуктов позволяет выделить следующие риски, возникающие при их транспортировке:

- а) технические риски (выход из строя транспортного средства, возгорание в результате разлива нефтепродуктов);
- б) экологические риски (нанесение ущерба окружающей среде);
- в) эксплуатационные риски (ненадлежащее обеспечение технического состояния оборудования/транспортного средства);
- г) социальные риски (нанесение вреда здоровью людей) [4].



Рис. 1. Объекты транспортировки нефтепродуктов

Известно, что минимизация рисков ЧС, возникающих при авариях в процессе транспортировки нефтепродуктов, является результатом процесса управления этими рисками [5–7]. Управление рисками предполагает принятие решений по предупреждению возможности возникновения аварии на объектах транспортировки нефтепродуктов или снижения их возможных последствий [8, 9].

Оценка риска – процесс, включающий в себя идентификацию, анализ и сравнительную оценку риска [10]. Риск может быть оценен как для всего объекта транспортировки нефтепродуктов, так и для его частей или конкретного опасного события. Поэтому в различных ситуациях могут быть применены различные методы оценки риска [10].

Для того чтобы понять, является уровень риска приемлемым или же требуется его обработка в дальнейшем, используют различные методы оценки риска [11–16]. С учетом разнообразия существующих методов, целью исследования является проведение сравнительного анализа методов оценки риска аварий на объектах транспортировки нефтепродуктов.

### Методы исследования

Рассматривая процесс оценки рисков с системных позиций, при оценке риска аварий на объектах транспортировки нефтепродуктов можно выделить ряд подпроцессов: идентификация риска, анализ риска, сравнительная оценка риска.

**Идентификации риска.** Процесс включает в себя идентификацию причин и источников опасных событий, ситуаций, обстоятельств или риска, которые могут оказать существенное воздействие на достижение целей, и характер этих воздействий.

Методы идентификации риска могут включать в себя:

– методы оценки риска на основе документальных свидетельств (анализ контрольных листов, анализ экспериментальных данных, а также данных и событий, произошедших в прошлом);

– подход, в соответствии с которым группа экспертов следует установленному процессу идентификации риска посредством структурированного множества подсказок или вопросов;

– индуктивные методы, такие как HAZOP.

Для того чтобы повысить точность и полноту идентификации риска могут быть использованы различные вспомогательные методы (метод мозгового штурма и метод Дельфи).

**Анализ риска** включает в себя анализ и исследование информации о риске, обеспечивает входные данные процесса общей оценки риска, помогает в принятии решений относительно необходимости обработки риска, а также помогает выбрать соответствующие стратегии и методы обработки риска.

Анализ риска включает оценку вероятности и возможных последствий идентифицированных опасных событий с учетом возможности применения различных механизмов управления. Данные о вероятности аварийных событий и их последствиях используют для определения уровня риска. Также анализ риска включает анализ источников опасных событий, их положительных и отрицательных последствий и вероятностей появления этих событий. При этом должны быть идентифицированы факторы, влияющие на вероятность события и его последствия.

При анализе риска могут быть использованы качественные, количественные или смешанные методы. Детализация анализа зависит от конкретного случая, доступности информации об объекте исследования и целей.

**Сравнительная оценка риска** включает в себя сопоставление уровня риска с установленными критериями для определения типа риска и его значимости. Сравнительная оценка риска использует информацию о риске, полученную при анализе риска. Результаты сравнительной оценки риска используют для принятия решений о будущих действиях [10].

Согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011 «Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Методы оценки риска», методы оценки риска можно разделить на пять групп (рис. 2).



Рис. 2. Методы оценки риска

### Результаты исследования

Во многих трудах отечественных и зарубежных авторов рассматриваются те или иные аспекты оценки риска на объектах транспортировки нефтепродуктов [17–20]. В таблице представлены результаты сравнительного анализа методов, которые были использованы при оценке риска аварий на объектах транспортировки нефтепродуктов, а также выявлены их преимущества и недостатки.

Таблица. Анализ методов оценки риска при транспортировке нефтепродуктов

| Метод оценки риска                        | Труды, в которых был использован метод   | Преимущества метода  | Недостатки метода  |
|---|--|--|--|
| Анализ видов и последствий отказов (FMEA) | В работе [21] авторами предложена модернизация метода с целью оценивания как риска, так и возможностей, а также разработана шкала оценки значимости возможностей.<br>Автор А.С. Кривов [22] использовал метод для идентификации возможных последствий от возможных аварий при перевозке нефтепродуктов ж/д транспортом. Выявлен эколого-экономический риск в случае разлива нефтепродуктов при крушении поезда и оценен риск отравления людей при условии сбора нефтепродуктов механическим способом.<br>В работе [23] произведена | Метод позволяет выявить возможные последствия от негативных событий, тем самым заблаговременно их устранить путем выработки рекомендации по минимизации.<br>Также при применении метода возможно избежать больших затрат, так как все проблемы устраняются на ранних стадиях | При применении метода возможно идентифицировать только отдельные виды отказов, а не их сочетание. Для сложных систем процесс идентификации может быть длительным и дорогостоящим |

| Метод оценки риска                | Труды, в которых был использован метод  | Преимущества метода  | Недостатки метода  |
|-----------------------------------|---|--|--|
|                                   | идентификация возможных сбоев при транспортировке морским транспортом. В ходе работы выявлено, что основными сбойми являются: недостаточный обмен информацией, неисправность оборудования по сбору разлива нефти и слабая организация при сборе команды к месту аварии  |  |  |
| Диаграмма принятия решений (PDPC) | С помощью диаграммы принятия решений авторами [24] были выявлены наиболее рискованные элементы плана работ при постройке магистрального трубопровода и транспортировке нефти (контроль, прочность), с помощью метода выявлены риски и разработаны корректирующие действия   | Метод позволяет выявить риски на ранних стадиях и минимизировать их путем разработки корректирующих действий   | Применение метода неэффективно при наличии в плане работ большого количества задач   |
| Метод SWOT-анализа                | В работе [24] с помощью метода выявлены факторы внутренней и внешней среды, влияющей на работу трубопровода, и разделены на четыре категории: сильные и слабые стороны, возможности и угрозы  | Метод универсален для любой области исследования, прост в использовании, позволяет выявить и структурировать имеющиеся проблемы  | Метод позволяет выявить проблемы в конкретный момент времени, не учитывая возможные изменения. Позволяет выявить проблемы в общем виде, без конкретных данных, цифр. Чем сложнее объект исследования, тем больше неточностей будет в анализе |
| Диаграмма Исикавы                 | С помощью метода авторами [24] исследовалась проблема разрыва магистрального трубопровода, было выявлено пять возможных причин, влияющих на возникновение аварии (материалы, коррозия, человек, метод, контроль). И каждая из причин разбита на составляющие, которые отвечают на вопрос: почему это произошло? Тем самым выявлены наиболее значимые причины проблемы | Метод позволяет наглядно отобразить проблему и влияющие на нее причины. Удобен и прост в применении, для использования метода не требуется дополнительного обучения сотрудника | Иногда возникает сложность в выявлении причин и их ранжировании. Также сотрудник составляет схему исходя из субъективного мнения, поэтому сложно исключить ошибки при составлении схемы  |
| Анализ дерева событий (ETA)       | В работе [24] идентифицированы возможные исходы иницирующего события (разрыв магистрального трубопровода). В работе [25] авторы выявили влияние техногенных аварий,   | Метод позволяет наглядно изображать возможные сценарии развития событий. Может применяться как качественно, так и количественно  | При использовании метода существует вероятность не выявить возможное опасное событие. В методе сложно учесть,  |

| Метод оценки риска          | Труды, в которых был использован метод   | Преимущества метода  | Недостатки метода   |
|-----------------------------|--|--|---|
|                             | <p>возникающих на нефтепроводах на экологический риск. Авторы в работах [26–29] построили деревья событий, которые позволили выявить возможные аварии при сливо-наливных операциях на АЗС, возможные ЧС при эксплуатации резервуаров с нефтепродуктами на многотопливной АЗС, аварии на магистральном трубопроводе, аварии на объектах месторождения им. Ю. Корчагина в Северном Каспии. Также разработаны меры для минимизации возможных аварий, определен состав сил и средств, необходимых для локализации и ликвидации аварийных разливов нефти. В основе работы [30] лежит постулат, что любое внешнее воздействие на один из элементов системы отразится на работе показателей надежности всей системы, также построено дерево событий для выявления возможных аварий при перевозке нефтепродуктов ж/д транспортом. В работе [31] было рассмотрено три сценария развития пожара при попадании молнии в крупный нефтяной резервуар, и построены вероятностные модели количественного анализа влияния различных факторов. В работе [32] при использовании метода были составлены сценарии развития аварии в зависимости от степени разрушения цистерны с опасным химическим веществом на железной дороге</p> |  | <p>например, возможность элемента к восстановлению, что может привести к неполной оценке риска</p>  |
| Анализ дерева отказов (FTA) | <p>В работах [23, 25] при помощи метода были схематично отображены причины возникновения аварий при сливо-наливных операциях на АЗС и оценен риск. В работе [26, 32] построено дерево отказов при транспортировке нефтепродуктов ж/д транспортом</p>   | <p>Метод облегчает анализ надёжности систем путем наглядного отображения отказов. Возможно выполнение как качественного, так и количественного анализа, поочередно</p> | <p>Метод представляет собой схему, на которой показаны только два состояния (рабочее и отказ). Трудно учесть состояние частичного отказа. Требуется значительное количество времени</p> |

| Метод оценки риска                                 | Труды, в которых был использован метод  | Преимущества метода   | Недостатки метода  |
|--|---|---|--|
|  | и усовершенствована методика анализа риска аварий, а также оценена вероятность возникновения аварии по причине влияния техногенного фактора. В работе [33] рассчитана вероятность возникновения пожара при попадании молнии в крупный нефтяной резервуар. Авторы работы [34] с использованием метода оценили риск возникновения аварии на нефте- и газопроводе с учетом влияния на них стихийных бедствий | обращать внимание на отказы   | и средств  |
| Анализ уровней защиты (LOPA)                       | В работе [35] автор использовал метод для расчёта возможных последствий до порядка величины серьезности развития пожароопасной ситуации на морском нефтяном танкере, а также сравнил риски различных сценариев  | Метод позволяет идентифицировать наиболее критичные уровни защиты и обеспечить их ресурсами. Метод направлен на наиболее серьезные нежелательные последствия  | Позволяет рассматривать одну пару «причина-последствие» и один соответствующий сценарий при однократном к нему обращении. Данный метод не охватывает сложные взаимодействия между рисками или средствами управления. Количественная оценка риска не всегда может быть получена для общих видов отказов |
| Исследование опасности и работоспособности (HAZOP) | В работе [36] авторы проанализировали опасности на морском нефтяном танкере (разлив нефти при транспортировке) с применением метода, что обеспечило качественный анализ рисков и оценены критерии приемлемого риска   | Применять метод можно на любом этапе жизненного цикла объекта, позволяет точно рассмотреть причины отказов. В рамках процесса HAZOP проходит регистрация всех записей, что позволяет обеспечить объективные свидетельства для дальнейшего анализа | Применение метода трудозатратно и дорогостояще. Исследование может быть сосредоточено на отдельных проблемах объекта, а не рассматриваться в широком диапазоне   |
| Идентификация опасностей HAZID                     | Авторы работы [16] осуществили выявление опасностей при транспортировке нефтепродуктов по морю танкером и оценили критерии  | Возможен анализ последствий реализации опасностей на ранних стадиях разработки проекта с возможностью   | Большие затраты и длительность выявления опасностей  |

| Метод оценки риска                | Труды, в которых был использован метод   | Преимущества метода  | Недостатки метода  |
|-----------------------------------|--|--|--|
|                                   | приемлемого риска  | выбора оптимальных, альтернативных вариантов технологического проектирования. Выявление опасностей и угроз с целью их минимизации  |  |
| Байесовский анализ и сети Байеса  | Автором работы [36] оценены риски при перевозке опасных грузов на танкерах, и построена модель вероятностных взаимосвязей между причинами пожаров и взрывов. В работе [37] разработано приложение вероятностной оценки риска на основе Байесовских сетей, с помощью которого возможно прогнозирование вероятных аварий при транспортировке нефти морским транспортом | Выведенные утверждения легки для понимания, применение метода основано на формуле Байеса   | Определение всех взаимодействий в сложных системах не всегда выполнимо, требует знания множества условных вероятностей                                     |
| Метод получения экспертных оценок | В работе [38] было предложено осуществлять комплексную оценку рисков возникновения аварий на объектах трубопроводного транспорта с использованием метода расчета надежности систем, при котором математическая модель описывается с помощью функций алгебры логики, а также с привлечением экспертных оценок   | Возможность получения количественных оценок в случаях, когда отсутствуют статистические сведения или показатель имеет качественную природу. Быстрота получения результатов | Субъективность мнения эксперта, достоверность и надежность результатов исследования зависят от его компетентности, трудоемкость процедуры сбора информации |
| Мозговой штурм                    | В работе [39] при помощи экспертов были определены ранги тяжести, появления и обнаружения. Оценены риски возникновения ЧС при транспортировке грузов судами водного транспорта и разработаны мероприятия по снижению риска   | Быстрота получения результата, легкость метода, развитие нестандартного мышления   | Субъективное мнение эксперта, возможен недостаток навыков и знаний. Участники, которые обладают ценными знаниями, могут не проявлять себя                  |

Проведенный анализ показал, что чаще всего при оценке риска применяют методы группы «Анализ сценариев» в силу их наглядности при отображении различных сценариев возникновения аварийных ситуаций и отказов на объектах транспортировки нефтепродуктов, а также возможности выполнения как качественного, так и количественного анализа, что немаловажно в целях предупреждения развития аварий. Но есть и недостатки методов, например, вероятность не выявить возможное опасное событие, либо же указывается только два состояния: рабочее/отказ, трудно учесть частичный отказ оборудования.

Методы группы «Функциональный анализ» также применяются при оценке рисков но реже, так как применение этих методов для сложных систем, таких как объекты транспортировки нефтепродуктов, требует большого количества времени и ресурсов.

Методы группы «Статистический анализ» также применяют для оценки риска аварий, так как логически выведенные утверждения легки для понимания, но необходимо знание множества условных вероятностей при применении методов.

Методы групп «Вспомогательные методы» и «Методы наблюдения» используют реже всего при оценке риска либо же в сочетании с другими методами. Данные методы просты в применении, но недостаток их в том, что мнение экспертов субъективно.

В большинстве работ оценка риска проводилась с применением одновременно нескольких методов, так как у каждого из них имеются свои преимущества и недостатки. Выбор же конкретного метода будет производиться с учетом конкретики объекта или объектов транспортировки нефтепродуктов.

### Заключение

Анализ риска аварий, который предполагает получение количественных оценок потенциальной опасности нефтегазовых объектов, является основополагающим элементом управления безопасностью.

Таким образом, обоснованный выбор и применение апробированных методов позволит обеспечить адекватность оценок рисков при транспортировке нефтепродуктов. Применение обоснованных методов оценки риска позволит лицам, принимающим решения в сфере управления транспортировкой нефтепродуктов, вырабатывать эффективные решения по их минимизации.

### Список литературы

1. Мачерет Д.А. Оценка долгосрочной перспективности структуры грузовых железнодорожных перевозок // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2021. Т. 80. № 4. С. 233–239. DOI: 10.21780/2223-9731-2021-80-4-233-239. EDN KKQMSF.
2. Колмыков С.В., Акименко Н.Ю. Проблемы транспортировки нефти по водным объектам // Новые идеи нового века: материалы междунар. науч. конф. ФАД ТОГУ. 2021. Т. 3. С. 312–315. EDN UWCCLA.
3. Шикора О.И., Щетка В.Ф. Анализ возможных причин аварийных ситуаций на объектах транспортировки нефтепродуктов // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Научный и практический подходы к развитию и реализации технологий безопасности: сб. статей по материалам XVII Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж: Воронежский гос. техн. ун-т, 2021. С. 126–129. EDN PPDENP.
4. Quantitative-mechanistic model for assessing landslide probability and pipeline failure probability due to landslides / J.P. Alvarado-Franco [et al.] // Sustainability. China. 2022. № 14 (19). P. 221–229. DOI: 10.1016/j.enggeo.2017.04.005.
5. Zhang Peng, Guojin Qin, Yihuan Wang. Risk Assessment System for Oil and Gas Pipelines Laid in One Ditch Based on Quantitative Risk Analysis // Energies. China. 2019. № 12 (6). P. 101–122. DOI: 10.3390/en12060981.
6. Mohammadpoor M., Torabi F. Big Data analytics in oil and gas industry: An emerging trend // Petroleum. 2019. № 6. P. 321–328. DOI: 10.1016/j.petlm.2018.11.001.
7. Review and analysis of fire and explosion accidents in maritime transportation / Til Baalisampang [et al.] // Ocean Engineering. 2018. P. 350–366.
8. Матвеев А.В., Матвеев В.В., Потапов Б.В. Основы теории анализа и управления риском возникновения чрезвычайных ситуаций: монография. СПб.: Инф. изд. учеб.-науч. центр «Стратегия будущего», 2003. 407 с. EDN: ZBTTWN.
9. Белов П.Г. Стратегическое планирование развития и обеспечения национальной безопасности России: прогнозирование и снижение риска чрезвычайных ситуаций // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2015. № 1 (9). С. 47–58. EDN THRQSH.

10. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска: национальный стандарт Российской Федерации. М.: Стандартинформ, 2011. 94 с.
11. Wencheng Huang, Borui Zuo. A systematic railway dangerous goods transportation system risk analysis approach: the 24 model // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2021. Vol. 70. № 1. P. 94–103. DOI: 10.1109/TR.2020.2973431.
12. Pengfei Chen, Junmin Mou. Probabilistic risk analysis for ship-ship collision: state-of-the-art // *Safety Science*. 2019. P. 108–122. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.04.014.
13. Biezma M.V., Andrés M.A. Most fatal oil & gas pipeline accidents through history: a lessons learned approach // *Engineering Failure Analysis*. 2020. P. 11–15. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2020.104446.
14. Jihong Chen, Fangwei Zhang. Identifying critical factors of oil spill in the tanker shipping industry worldwide // *Journal of Cleaner Production*. 2018. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.238.
15. Yang Zhang, Cheng Cheng. Spatial patterns and characteristics of global maritime accident // *Reliability Engineering & System Safety*. 2021. P. 107–114. DOI: 10.1016/j.res.2020.107310.
16. Peter Vidmar, Marko Perkovič. Safety assessment of crude oil tankers // *Safety Science*. 2018. P. 178–191. DOI: 10.1016/j.ssci.2018.02.009.
17. Vairo Tomaso, Fabiano Bruno. Critical aspects of natural gas pipelines risk assessments. A case-study application on buried layout // *Process Safety and Environmental Protection*. 2021. P. 258–268. DOI: 10.1016/j.psep.2020.10.050.
18. Xifei Huang, Xinhao Wang. Risk assessment of the areas along the highway due to hazardous material transportation accidents // *Natural Hazards*. 2018. P. 1181–1202. DOI: 10.1007/s11069-018-3346-4.
19. Rouzbeh Abbassi. Review and analysis of fire and explosion accidents in maritime transportation // *Ocean Engineering*. 2018. P. 350–366. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2018.04.022.
20. Guojin Qin, Peng Zhang. Investigating an assessment model of system oil leakage considering failure dependence // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. P. 75–87. DOI: 10.1007 / s11356-020-09999-0.
21. Василега Д.С., Остапенко М.С., Василега Н.А. Разработка методики оценивания рисков и возможностей при транспортировке нефти и газа // *Нефтегазовый терминал: материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Транспорт и хранение углеводородного сырья» / под. общ. ред. С.Ю. Подорожникова. Тюмень: Тюменский индустриальный ун-т, 2019. Т. 1. Вып. 17. С. 148–153. EDN AMWDMY.*
22. Кривов А.С. Оценка рисков при перевозке нефти и нефтепродуктов железнодорожным транспортом: Томск, 2017.
23. Emre Akuz., Erkan Celik. A quantitative risk analysis by using interval type-2 fuzzy FMEA approach: the case of oil spill // *Maritime Policy & Management*. 2018. P. 1–16. DOI: 10.1080/03088839.2018.1520401.
24. Ищук Д.В., Горина Л.Н. Методология оценки рисков при эксплуатации магистральных трубопроводов // *Безопасность и охрана труда – 2019: молодёжная программа в рамках Международной выставки – конкурса БИОТ. М., 2019. С. 87–90. EDN WUNPES.*
25. Анализ экологических рисков на магистральных и технологических нефтепроводах / И.Н. Квасов [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*. 2020. № 2. С. 107–119. DOI: 10.31660/0445-0108-2020-2-107-119. EDN VYKYEG.
26. Дроздова Т.И., Деревянченко И.С. Прогнозный анализ техногенных рисков при сливно-наливных операциях на автозаправочной станции г. Свирска // *XXI век. Техносферная безопасность*. 2019. Т. 4. № 2 (14). С. 171–188. DOI: 10.21285/2500-1582-2019-2-171-188. EDN UJVVAL.
27. Козлова Е.Б., Мелихов И.А. Анализ пожарной опасности эксплуатации резервуаров с нефтепродуктами на многотопливной АЗС «Уфаойл» // *Цифровая наука*. 2020. № 2-3. С. 19–26. EDN QYNGZY.

28. Антипина О.И. Анализ рисков технологических процессов слива-налива на автозаправочных станциях Российской Федерации // *Modern Science*. 2021. № 1-1. С. 418–427. EDN TCMQIV.

29. Чижевский Е.Д. Анализ риска аварий на магистральном нефтепроводе // *Современные проблемы лингвистики и методики преподавания русского языка в вузе и школе*. 2022. № 39. С. 1114–1124. EDN BEZIPF.

30. Туркина Г.И., Туркин А.В., Колмыков Е.В. Оценка риска разливов нефти и нефтепродуктов с объектов месторождения имени Юрия Корчагина в Северном Каспии // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2013. № 5. С. 26–29. EDN QAJZPT.

31. Dongyin Wu., Zhen Chen. Quantitative risk assessment of fire accidents of large-scale oil tanks triggered by lightning // *Engineering Failure Analysis*. 2016. Vol. 63. P. 172–181. ISSN 1350-6307.

32. Хамидуллина Е.А., Тарасова М.Н. Оценка риска последствий аварийной разгерметизации цистерны с опасным химическим веществом на железной дороге // *XXI век. Техносферная безопасность*. 2017. Т. 2. № 1 (5). С. 104–118. EDN YHFJDV.

33. Сергеева М.Д. Техногенный фактор при оценке риска на железнодорожном транспорте // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2021. Т. 10. № 4 (56). С. 206–210. DOI: 10.46548/21vek-2021-1056-0042. EDN FOELMI.

34. Pavanaditya Badida, Yakesh Balasubramaniam, Jayapriya Jayaprakash. Risk evaluation of oil and natural gas pipelines due to natural hazards using fuzzy fault tree analysis // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2019. Vol. 66. P. 284–292. ISSN 1875-5100.

35. Лоран Н.М. Методика оценки риска развития пожароопасной ситуации на морском нефтяном танкере // *Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник»*. 2022. № 3. С.20–27.

36. Галиновский Д.С. Исследование безопасности и оценки рисков при перевозке опасных грузов на танкерах для перевозки нефти и химовозов // *Научные исследования: проблемы и перспективы: сб. науч. трудов по материалам XXXVIII Междунар. науч.-практ. конф. Анапа: Изд-во «НИЦ ЭСП» в ЮФО, 2022. С. 41–61.*

37. A Bayesian Network for Assessing the Collision Induced Risk of an Oil Accident in the Gulf of Finland / Anukka Lehtikoinen [et al.] // *Environmental science and technology*. № 4. 2015. DOI: 10.1021/es501777g/.

38. Воронин А.Н., Липский В.К. Анализ комплексного риска в магистральных трубопроводных системах // *Трубопроводный транспорт 2016: материалы XI Междунар. учеб.-науч.-практ. конф. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. С. 33–34.*

39. Якуничкин В.С. Совершенствование практики управления рисками на судах водного транспорта // *Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сб. науч. трудов III Междунар. молодеж. науч.-практ. конф. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2016. Т. 2. С. 373–378. EDN XDXOXN.*

## References

1. Macheret D.A. Ocenka dolgosrochnoj perspektivnosti struktury gruzovyh zheleznodorozhnyh perevozok // *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*. 2021. Т. 80. № 4. S. 233–239. DOI: 10.21780/2223-9731-2021-80-4-233-239. EDN KKQMSF.

2. Kolmykov S.V., Akimenko N.Yu. Problemy transportirovki nefiti po vodnym ob"ektam // *Novye idei novogo veka: materialy mezhdunar. nauch. konf. FAD TOGU*. 2021. Т. 3. S. 312–315. EDN UWCCLA.

3. Shikora O.I., Shchetka V.F. Analiz vozmozhnyh prichin avarijnyh situacij na ob"ektah transportirovki nefteproduktov // *Kompleksnye problemy tekhnosfernoj bezopasnosti. Nauchnyj i prakticheskij podhody k razvitiyu i realizacii tekhnologij bezopasnosti: sb. statej po materialam XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Voronezh: Voronezhskij gos. tekhn. un-t, 2021. S. 126–129. EDN PPDENP.*

4. Quantitative-mechanistic model for assessing landslide probability and pipeline failure probability due to landslides / J.P. Alvarado-Franco [et al.] // *Sustainability*. China. 2022. № 14 (19). P. 221–229. DOI: 10.1016/j.enggeo.2017.04.005.
5. Zhang Peng, Guojin Qin, Yihuan Wang. Risk Assessment System for Oil and Gas Pipelines Laid in One Ditch Based on Quantitative Risk Analysis // *Energies*. China. 2019. № 12 (6). P. 101–122. DOI: 10.3390/en12060981.
6. Mohammadpoor M., Torabi F. Big Data analytics in oil and gas industry: An emerging trend // *Petroleum*. 2019. № 6. P. 321–328. DOI: 10.1016/j.petlm.2018.11.001.
7. Review and analysis of fire and explosion accidents in maritime transportation / Til Baalisampang [et al.] // *Ocean Engineering*. 2018. P. 350–366.
8. Matveev A.V., Matveev V.V., Potapov B.V. Osnovy teorii analiza i upravleniya riskom vozniknoveniya chrezvychajnyh situacij: monografiya. SPb.: Inf. izd. ucheb.-nauch. centr «Strategiya budushchego», 2003. 407 s. EDN: ZBTTWN.
9. Belov P.G. Strategicheskoe planirovanie razvitiya i obespecheniya nacional'noj bezopasnosti Rossii: prognozirovanie i snizhenie riska chrezvychajnyh situacij // *Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie*. 2015. № 1 (9). S. 47–58. EDN THRSQH.
10. GOST R ISO/MEK 31010–2011. Menedzhment riska. Metody ocenki riska: nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. M.: Standartinform, 2011. 94 s.
11. Wencheng Huang, Borui Zuo. A systematic railway dangerous goods transportation system risk analysis approach: the 24 model // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2021. Vol. 70. № 1. P. 94–103. DOI: 10.1109/TR.2020.2973431.
12. Pengfei Chen, Junmin Mou. Probabilistic risk analysis for ship-ship collision: state-of-the-art // *Safety Science*. 2019. P. 108–122. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.04.014.
13. Biezma M.V., Andrés M.A. Most fatal oil & gas pipeline accidents through history: a lessons learned approach // *Engineering Failure Analysis*. 2020. P. 11–15. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2020.104446.
14. Jihong Chen, Fangwei Zhang. Identifying critical factors of oil spill in the tanker shipping industry worldwide // *Journal of Cleaner Production*. 2018. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.238.
15. Yang Zhang, Cheng Cheng. Spatial patterns and characteristics of global maritime accident // *Reliability Engineering & System Safety*. 2021. P. 107–114. DOI: 10.1016/j.res.2020.107310.
16. Peter Vidmar, Marko Perkovič. Safety assessment of crude oil tankers // *Safety Science*. 2018. P. 178–191. DOI: 10.1016/j.ssci.2018.02.009.
17. Vairo Tomaso, Fabiano Bruno. Critical aspects of natural gas pipelines risk assessments. A case-study application on buried layout // *Process Safety and Environmental Protection*. 2021. P. 258–268. DOI: 10.1016/j.psep.2020.10.050.
18. Xifei Huang, Xinhao Wang. Risk assessment of the areas along the highway due to hazardous material transportation accidents // *Natural Hazards*. 2018. P. 1181–1202. DOI: 10.1007/s11069-018-3346-4.
19. Rouzbeh Abbassi. Review and analysis of fire and explosion accidents in maritime transportation // *Ocean Engineering*. 2018. P. 350–366. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2018.04.022.
20. Guojin Qin, Peng Zhang. Investigating an assessment model of system oil leakage considering failure dependence // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. P. 75–87. DOI: 10.1007 / s11356-020-09999-0.
21. Vasilega D.S., Ostapenko M.S., Vasilega N.A. Razrabotka metodiki ocenivaniya riskov i vozmozhnostej pri transportirovke nefi i gaza // *Neftegazovyj terminal: materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Transport i hranenie uglevodorodnogo syr'ya» / pod. obshch. red. S.Yu. Podorozhnikova. Tyumen': Tyumenskij industrial'nyj un-t, 2019. T. 1. Vyp. 17. S. 148–153. EDN AMWDMY.*
22. Krivov A.S. Ocenka riskov pri perevozke nefi i nefteproduktov zheleznodorozhnym transportom: Tomsk, 2017.
23. Emre Akyuz., Erkan Celik. A quantitative risk analysis by using interval type-2 fuzzy FMEA approach: the case of oil spill // *Maritime Policy & Management*. 2018. P. 1–16. DOI: 10.1080/03088839.2018.1520401.

24. Ishchuk D.V., Gorina L.N. Metodologiya ocenki riskov pri ekspluatatsii magistral'nyh truboprovodov // *Bezopasnost' i ohrana truda – 2019: molodyozhnaya programma v ramkah Mezhdunarodnoj vystavki – konkursa BIOT*. M., 2019. S. 87–90. EDN WUNPES.

25. Analiz ekologicheskikh riskov na magistral'nyh i tekhnologicheskikh nefteprovodah / I.N. Kvasov [i dr.] // *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Neft' i gaz*. 2020. № 2. S. 107–119. DOI: 10.31660/0445-0108-2020-2-107-119. EDN VYKYEG.

26. Drozdova T.I., Derevyanchenko I.S. Prognoznyj analiz tekhnogennykh riskov pri slivno-nalivnykh operatsiyah na avtozapravochnoj stancii g. Svirskaya // *HKHI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'*. 2019. T. 4. № 2 (14). S. 171–188. DOI: 10.21285/2500-1582-2019-2-171-188. EDN UJVBAL.

27. Kozlova E.B., Melihov I.A. Analiz pozharnoj opasnosti ekspluatatsii rezervuarov s nefteproduktami na mnogotoplivnoj AZS «Ufajl» // *Cifrovaya nauka*. 2020. № 2-3. S. 19–26. EDN QYNGZY.

28. Antipina O.I. Analiz riskov tekhnologicheskikh processov slivana-liva na avtozapravochnykh stantsiyah Rossijskoj Federacii // *Modern Science*. 2021. № 1-1. S. 418–427. EDN TCMQIV.

29. Chizhevskij E.D. Analiz riska avarij na magistral'nom nefteprovode // *Sovremennye problemy lingvistiki i metodiki prepodavaniya russkogo yazyka v vuze i shkole*. 2022. № 39. S. 1114–1124. EDN BEZIPP.

30. Turkina G.I., Turkin A.V., Kolmykov E.V. Ocenka riska razlivov nefi i nefteproduktov s ob'ektov mestorozhdeniya imeni Yuriya Korchagina v Severnom Kaspii // *Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse*. 2013. № 5. S. 26–29. EDN QAJZPT.

31. Dongyin Wu., Zhen Chen. Quantitative risk assessment of fire accidents of large-scale oil tanks triggered by lightning // *Engineering Failure Analysis*. 2016. Vol. 63. P. 172–181. ISSN 1350-6307.

32. Hamidullina E.A., Tarasova M.N. Ocenka riska posledstvij avarijnoj razgermetizatsii cisterny s opasnym himicheskim veshchestvom na zheleznoj doroge // *HKHI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'*. 2017. T. 2. № 1 (5). S. 104–118. EDN YHFJDV.

33. Sergeeva M.D. Tekhnogennyj faktor pri ocenke riska na zheleznodorozhnom transporte // *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus*. 2021. T. 10. № 4 (56). S. 206–210. DOI: 10.46548/21vek-2021-1056-0042. EDN FOELMI.

34. Pavanaditya Badida, Yakesh Balasubramaniam, Jayapriya Jayaprakash. Risk evaluation of oil and natural gas pipelines due to natural hazards using fuzzy fault tree analysis // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2019. Vol. 66. P. 284–292. ISSN 1875-5100.

35. Loran N.M. Metodika ocenki riska razvitiya pozharoopasnoj situacii na morskome neftyanom tankere // *Nauchno-analiticheskij zhurnal «Sibirskij pozharno-spatatel'nyj vestnik»*. 2022. № 3. C.20–27.

36. Galinovskij D.S. Issledovanie bezopasnosti i ocenki riskov pri perevozke opasnykh gruzov na tankerah dlya perevozki nefi i himovozov // *Nauchnye issledovaniya: problemy i perspektivy: sb. nauch. trudov po materialam XXXVIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Anapa: Izd-vo «NIC ESP» v YUFO*, 2022. S. 41–61.

37. A Bayesian Network for Assessing the Collision Induced Risk of an Oil Accident in the Gulf of Finland / Anukka Lehtikoinen [et al.] // *Environmental science and technology*. № 4. 2015. DOI: 10.1021/es501777g/.

38. Voronin A.N., Lipskij V.K. Analiz kompleksnogo riska v magistral'nyh truboprovodnykh sistemah // *Truboprovodnyj transport 2016: materialy XI Mezhdunar. ucheb.-nauch.-prakt. konf. Ufa: Izd-vo UGNTU*, 2016. S. 33–34.

39. Yakunichkin V.S. Sovershenstvovanie praktiki upravleniya riskami na sudah vodnogo transporta // *Kachestvo produkcii: kontrol', upravlenie, povyshenie, planirovanie: sb. nauch. trudov III Mezhdunar. molodezh. nauch.-prakt. konf. Kursk: ZAO «Universitetskaya kniga»*, 2016. T. 2. S. 373–378. EDN XDXOXN.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 08.11.2022; одобрена после рецензирования: 22.11.2022;  
принята к публикации: 23.11.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 08.11.2022; approved after review: 22.11.2022;  
accepted for publication: 23.11.2022

*Сведения об авторах:*

**Скрыпникова Оксана Ивановна**, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [skrypnikova.oxana@yandex.ru](mailto:skrypnikova.oxana@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2656-4907>

**Щетка Владимир Федорович**, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат военных наук, профессор, e-mail: [vfsche@mail.ru](mailto:vfsche@mail.ru)

*Information about the authors:*

**Skrypnikova Oksana I.**, associate professor of the faculty of training of highly qualified personnel of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: [skrypnikova.oxana@yandex.ru](mailto:skrypnikova.oxana@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2656-4907>

**Shchetka Vladimir F.**, professor of the department of system analysis and crisis management of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of military sciences, professor, e-mail: [vfsche@mail.ru](mailto:vfsche@mail.ru)

---

---

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

---

---

Научная статья

УДК 614:84

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОРАСШИРЯЮЩИХСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

✉ Головина Екатерина Валерьевна.

Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия.

Калач Андрей Владимирович.

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

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

*Аннотация.* Приводятся результаты исследования огнезащитных вспучивающихся материалов на основе силиконового связующего и на основе эпоксидных смол методами синхронного термического анализа. Проведен сравнительный анализ результатов термогравиметрического, дифференциально-термогравиметрического анализа и дифференциально-сканирующей калориметрии. Обоснована актуальность применения средств огнезащиты на объектах нефтегазовой отрасли, расположенных в арктических районах. Изучены термоаналитические характеристики анализируемых огнезащитных составов, позволяющие оценить термостойкость и горючесть. Опираясь на результаты термического анализа, сделан вывод о более высокой термостойкости огнезащитных покрытий на основе эпоксидного связующего по сравнению с силиконовым огнезащитным составом.

*Ключевые слова:* терморасширяющиеся огнезащитные составы, метод синхронного термического анализа, термоаналитические характеристики, термостойкость, горючесть

**Для цитирования:** Головина Е.В., Калач А.В. Исследование терморасширяющихся огнезащитных составов методом термического анализа для применения в условиях Арктического региона // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 34–40.

## INVESTIGATION OF THERMALLY EXPANDING FLAME RETARDANTS BY THERMAL ANALYSIS FOR USE IN CONDITIONS OF ARCTIC REGION

✉ Golovina Ekaterina V.

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

Kalach Andrey V.

Voronezh state technical university, Voronezh, Russia

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

*Abstract.* The article presents the results of the study of flame-retardant bulging materials based on silicone binder and epoxy resin-based methods of synchronous thermal analysis. A comparative analysis of the results of thermogravimetric, differential-thermogravimetric analysis and differential-scanning

calorimetry was carried out. The relevance of the use of fire protection equipment at oil and gas industry facilities located in the Arctic regions is substantiated. The thermoanalytical characteristics of the analyzed flame retardants have been studied, allowing to assess the heat resistance and flammability. Based on the results of thermal analysis, a conclusion about the higher temperature resistance of flame retardant coatings based on epoxy binder compared to silicone flame retardant is made.

*Keywords:* thermally expanding flame retardants, method of synchronous thermal analysis, thermoanalytical characteristics, thermal resistance, flammability

**For citation:** Golovina E.V., Kalach A.V. Investigation of thermally expanding flame retardants by thermal analysis for use in conditions of Arctic region // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 4. P. 34–40.

## Введение

Общеизвестно, что основные запасы нефтегазового сырья в России размещаются на малодоступных территориях. В первую очередь представляют практический и научный интерес арктические районы, поскольку именно в Арктике сосредоточено до 20 % нефтяных и более 50 % газовых запасов Российской Федерации [1–4]. Интенсификация освоения арктических районов России выдвигает в число первоочередных задач разработку средств противопожарной защиты предприятий нефтегазовой отрасли. Таким образом, выбор определенного способа огнезащиты является актуальной научной и практической задачей [4, 5], требующей современных и результативных решений.

Применение вспучивающихся тонкослойных покрытий является одним из эффективных способов огнезащиты металлических конструкций промышленных объектов. Особенностью данных огнезащитных составов (ОЗС) является их способность при воздействии высоких температур многократно увеличиваться в объеме с образованием пенококсового слоя, который выполняет функцию барьера и препятствует нагреву защищаемой металлоконструкции [6].

В условиях растущих объемов промышленного производства и увеличения количества огнезащитных материалов оценка их эксплуатационных характеристик остается весьма востребованной. Принимая во внимание возрастающие требования к композиционным материалам, связанные с расширением диапазона их работы, в последние годы проводятся исследования по снижению их горючести [6].

Целью настоящей статьи является анализ теплофизических свойств огнезащитных вспучивающихся составов на основе эпоксидных смол и на основе силиконового связующего применительно к условиям углеводородного горения, свойственного для предприятий нефтяной и газовой промышленности.

Для реализации поставленной цели были решены следующие задачи:

- исследование методами термического анализа терморасширяющихся ОЗС на основе эпоксидных смол в качестве связующего;
- анализ вспучивающихся огнезащитных покрытий на основе силиконового связующего методами термического анализа;
- сравнительный анализ термоокислительной деструкции исследуемых огнезащитных материалов.

## Методы и объекты исследования

Исследования ОЗС проводились методами синхронного термического анализа (СТА) с помощью термоанализатора Netzsch, возможности которого позволяют одновременно получить результаты термогравиметрического анализа (ТГ), дифференциально-термогравиметрического анализа (ДТГ) и дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) [7].

Объектами исследования были выбраны огнезащитные вспучивающиеся составы на эпоксидной и силиконовой основах, которые применяются для нанесения на стальные строительные конструкции с целью повышения их предела огнестойкости [8–11].

### Результаты исследования и их обсуждение

Вспучивающиеся ОЗС на основе эпоксидных смол и на основе силиконового связующего позиционируются производителями как огнезащитные составы для объектов топливно-энергетической и нефтегазовой отраслей [12, 13].

На рис. 1 представлены термограммы огнезащитного терморасширяющегося материала, в состав которого входит низкомолекулярный силан, полифосфат аммония, пентаэритрит, моноаммонийфосфат, сульфат алюминия и гидроксид алюминия в соответствии с технической документацией [14].

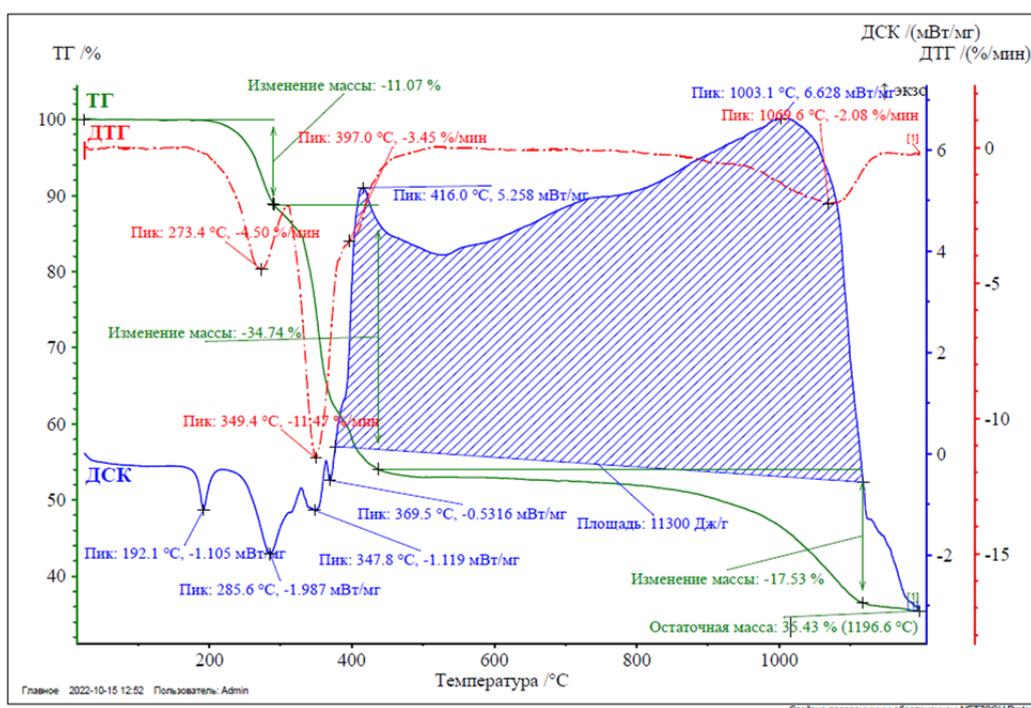


Рис. 1. Результат исследования методом СТА огнезащитного вспучивающегося состава на основе силиконового связующего

В соответствии с анализом ТГ-кривой наблюдается три основных этапа потери массы в следующих интервалах температур:

- 1) от 230 до 290 °С, что соответствует процессу начала интумесценции огнезащитного материала;
- 2) от 290 до 450 °С – в этот период наблюдается интенсивный процесс образования пенококсовой структуры вспученного слоя;
- 3) от 460 до 1080 °С – период огнезащитного действия пенококсового слоя.

Зольный остаток при конечной температуре исследования соответствует значению 35,43 % (на термограмме определен обозначением «остаточная масса»). Это говорит о том, что при достижении температуры 1 100 °С огнезащитное покрытие сохраняется более чем на 30 %. Если сравнивать анализируемый огнезащитный материал с аналогичными ОЗС на основе водной и акриловой дисперсии, то значение зольного остатка силиконового состава выше (примерно на 10–15 % [15], что говорит о его меньшей горючести.

Анализ ДТГ-кривой показывает три пика температур, соответствующих максимальной скорости потери массы, что отвечает данным термогравиметрического анализа:

- 1) при температуре 273,4 °С скорость потери массы составляет 4,5 %/мин;

2) при температуре 349,4 °С скорость потери массы составляет 11,47 %/мин;

3) при температуре 1 069,6 °С скорость потери массы составляет 2,08 %/мин;

Как видно из данных термограммы, самым интенсивным является второй пик, находящийся в интервале температур 290–450 °С, что соответствует интенсивному процессу образования пенококка.

Для термостойких ОЗС необходимо, чтобы суммарный тепловой эффект анализируемого огнезащитного материала был как можно ниже [16]. При анализе кривой дифференциальной сканирующей калориметрии, экзотермический тепловой эффект исследуемого ОЗС составил 11 300 Дж/г. В то же время экзо- пик, соответствующий процессу выгорания пенококка, наблюдается при температуре 1 003,1 °С, что свидетельствует о его высокой термостойкости.

На рис. 2 представлены результаты исследования эпоксидного ОЗС методами термического анализа. В соответствии с данными термограммы наблюдается три основных этапа потери массы в интервалах температур:

1) от 130 до 180 °С;

2) от 200 до 440 °С;

3) от 490 до 1 100 °С.

Очевидно, что по сравнению с силиконовым ОЗС наблюдается смещение интервалов потери массы в низкотемпературную область. Результаты ДТГ-анализа подтверждают данные термогравиметрии – наблюдается два ярко выраженных ДТГ-пика:

1) при температуре 144,9 °С скорость потери массы составляет 4,37 %/мин;

2) при температуре 346,3 °С скорость потери массы составляет 5,09 %/мин.

В отличие от силиконового ОЗС отсутствует третий пик температуры, соответствующей максимальной скорости потери массы, однако наблюдается постепенное снижение массы анализируемого материала в результате термодеструкции. При конечной температуре исследования зольный остаток составляет 38,42 %.

Таким образом, данные ТГ и ДТГ-кривых свидетельствуют о более раннем процессе формирования пенококсовой структуры, а больший зольный остаток, по сравнению с ОЗС на силиконовой основе, говорит о большей термостойкости анализируемого терморасширяющегося покрытия.

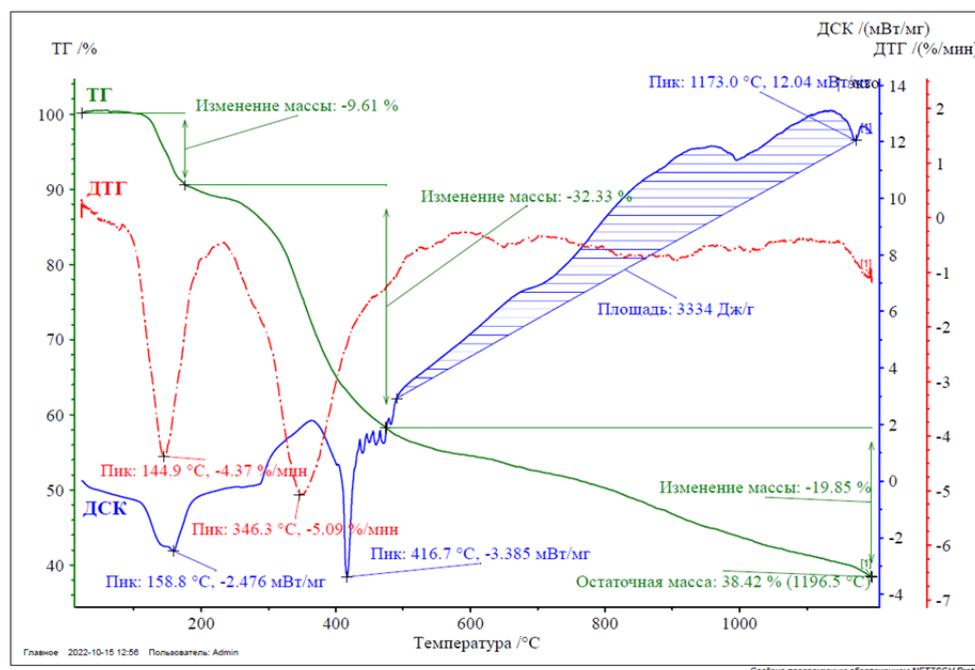


Рис. 2. Результат исследования методом СТА огнезащитного вспучивающегося состава на основе эпоксидной смолы

В соответствии с данными ДСК-кривой экзотермический эффект термоокислительной деструкции пенококса вспучивающегося эпоксидного ОЗС составил 3 334 Дж/г, что, вероятно, свидетельствует о его меньшей горючести и более высокой огнезащитной способности в температурных условиях углеводородного горения по сравнению с силиконовым ОЗС.

### Выводы

Анализ вспучивающихся ОЗС разной химической природы методами СТА позволяет определить важные термоаналитические характеристики, эндо- и экзотермические эффекты, удельную теплоемкость, скорость тепловыделения в ходе термоокислительной деструкции.

В результате анализа методами СТА теплофизических характеристик огнезащитных вспучивающихся составов на основе эпоксидных смол и на основе силиконового связующего можно сделать вывод о многообразии протекающих физико-химических процессов. Высокое значение теплового эффекта силиконового ОЗС свидетельствует о горючести исследуемого огнезащитного материала. Значения ТГ и ДТГ анализа также свидетельствуют о низкой термостойкости вспучивающегося покрытия на основе силиконового связующего по сравнению с ОЗС на основе эпоксидных смол. Таким образом, можно сделать вывод, что исследуемый силиконовый материал утрачивает необходимые для ОЗС эксплуатационные качества быстрее аналогичного ОЗС на эпоксидной основе. Соответственно, для применения на объектах нефтегазовой отрасли, расположенных в Арктическом регионе, рекомендуется использование огнезащитных вспучивающихся материалов на основе эпоксидных смол.

### Список источников

1. Шерстюков Б.Г. Климатические условия Арктики и новые подходы к прогнозу изменения климата // Арктика и Север. 2016. № 24. С. 39–67. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2016.24.39.
2. ACIA. Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge. UK: Cambridge University Press, 2005. 1072 p.
3. Прогнозирование возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса и ликвидация последствий аварийных разливов нефтепродуктов в арктических климатических условиях / Н.А. Махутов [и др.] // Арктика: экология и экономика. 2016. № 4 (24). С. 90–99.
4. Circum-Arctic Resource Appraisal: Estimates of Undiscovered Oil and Gas North of the Arctic Circle / K.J. Bird [et al.] // USGS Science for a Changing World. 2008. URL: <https://pubs.usgs.gov/fs/2008/3049/fs2008-3049.pdf> (дата обращения: 22.10.2022).
5. Анализ применения современных средств огнезащиты стальных конструкций нефтегазового комплекса в климатических условиях Арктического региона / Е.В. Головина [и др.] // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2022. № 2 (21). С. 19–29.
6. Intumescent Flame Retardant Mechanism of Lignosulfonate as a Char Forming Agent in Rigid Polyurethane Foam / W. Lu [et al.] // Polymers. 2021. № 13. P. 1585. DOI: 10.3390/polym13101585.
7. Губайдуллина А.М. Теоретические и прикладные аспекты применения методов термического анализа при изучении природных неорганических систем // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 8. С. 250–256.
8. Ravindra G.P., Khanna A.S. Intumescent coatings: A review on recent progress // Journal of Coatings Technology and Re-search. 2016. DOI: 10.1007/s11998-016-9815-3.
9. Weil E.D. Fire-Protective and Flame-Retardant Coatings – A State-of-the-Art Review // Journal of Fire Sciences. 2011. № 29 (3). P. 259–296. DOI: 10.1177/0734904110395469.
10. Chao Zhang. Thermal Properties of Intumescent Coatings in Fire // Reliability of Steel Columns Protected by Intumescent Coatings Subjected to Natural Fires. 2015. P. 37–50. DOI: 10.1007/978-3-662-46379-6\_4.

11. Исследование огнезащитных свойств составов интумесцентного типа при огневых испытаниях в условиях углеводородного горения / Е.В. Головина [и др.] // Техносферная безопасность. 2018. № 4 (21). С. 75–81.
12. Зыбина О.А., Варламов А.В., Мнацаканов С.С. Проблемы технологии коксообразующих огнезащитных покрытий: монография. Новосибирск: ЦРНС, 2010. 49 с.
13. Eremina T., Korolchenko D. Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions // Buildings. 2020. № 10:185. DOI: 10.3390/buildings10100185.
14. Повышение безопасности объектов нефтегазового комплекса путем совершенствования огнезащитных составов / Е.В. Головина [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2022. Т. 31. № 3. С. 24–33.
15. Головина Е.В., Беззапонная О.В., Акулов А.Ю. Методика оценки термостойкости огнезащитных составов интумесцентного типа для объектов нефтегазовой отрасли: монография. Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2020. 173 с.
16. Вяткин В.П. Термический анализ природных минералов, анализ газовой выделения, тепловые эффекты // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. трудов / под ред. В.Н. Фрянов. Новокузнецк, 2012. С. 277–282.

### References

1. Sherstyukov B.G. Klimaticheskie usloviya Arktiki i novye podhody k prognozu izmeneniya klimata // Arktika i Sever. 2016. № 24. S. 39–67. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2016.24.39.
2. ACIA. Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge. UK: Cambridge University Press, 2005. 1072 p.
3. Prognozovanie vzniknoveniya chrezvychajnyh situacij na ob"ektah neftegazovogo kompleksa i likvidaciya posledstvij avarijnyh razlivov nefteproduktov v arkticheskikh klimaticheskikh usloviyah / N.A. Mahutov [i dr.] // Arktika: ekologiya i ekonomika. 2016. № 4 (24). S. 90–99.
4. Circum-Arctic Resource Appraisal: Estimates of Undiscovered Oil and Gas North of the Arctic Circle / K.J. Bird [et al.] // USGS Science for a Changing World. 2008. URL: <https://pubs.usgs.gov/fs/2008/3049/fs2008-3049.pdf> (data obrashcheniya: 22.10.2022).
5. Analiz primeneniya sovremennyh sredstv ogneshchity stal'nyh konstrukcij neftegazovogo kompleksa v klimaticheskikh usloviyah Arkticheskogo regiona / E.V. Golovina [i dr.] // Zhilishchnoe hozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura. 2022. № 2 (21). S. 19–29.
6. Intumescent Flame Retardant Mechanism of Lignosulfonate as a Char Forming Agent in Rigid Polyurethane Foam / W. Lu [et al.] // Polymers. 2021. № 13. P. 1585. DOI: 10.3390/polym13101585.
7. Gubajdullina A.M. Teoreticheskie i prikladnye aspekty primeneniya metodov termicheskogo analiza pri izuchenii prirodnyh neorganicheskikh sistem // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2010. № 8. S. 250–256.
8. Ravindra G.P., Khanna A.S. Intumescent coatings: A review on recent progress // Journal of Coatings Technology and Re-search. 2016. DOI: 10.1007/s11998-016-9815-3.
9. Weil E.D. Fire-Protective and Flame-Retardant Coatings – A State-of-the-Art Review // Journal of Fire Sciences. 2011. № 29 (3). P. 259–296. DOI: 10.1177/0734904110395469.
10. Chao Zhang. Thermal Properties of Intumescent Coatings in Fire // Reliability of Steel Columns Protected by Intumescent Coatings Subjected to Natural Fires. 2015. P. 37–50. DOI: 10.1007/978-3-662-46379-6\_4.
11. Issledovanie ogneshchitnyh svojstv sostavov intumescentnogo tipa pri ognevnyh ispytaniyah v usloviyah uglevodorodnogo goreniya / E.V. Golovina [i dr.] // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2018. № 4 (21). S. 75–81.
12. Zyбина О.А., Варламов А.В., Мнацаканов С.С. Проблемы технологии коксообразующих огнезащитных покрытий: монография. Новосибирск: ЦРНС, 2010. 49 с.
13. Eremina T., Korolchenko D. Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions // Buildings. 2020. № 10:185. DOI:10.3390/buildings10100185.

14. Povyshenie bezopasnosti ob"ektov neftegazovogo kompleksa putem sovershenstvovaniya ognezashchitnyh sostavov / E.V. Golovina [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2022. T. 31. № 3. S. 24–33.

15. Golovina E.V., Bezzaponnaya O.V., Akulov A.Yu. Metodika ocenki termostojkosti ognezashchitnyh sostavov intumescentnogo tipa dlya ob"ektov neftegazovoj otrasli: monografiya. Ekaterinburg: Ural'skij institut GPS MCHS Rossii, 2020. 173 s.

16. Vyatkin V.P. Termicheskij analiz prirodnyh mineralov, analiz gazovydeleniya, teplovyje efekty // Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nyh resursov: sb. nauch. trudov / pod red. V.N. Fryanov. Novokuzneck, 2012. S. 277–282.

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 31.10.2022; одобрена после рецензирования: 23.11.2022; принята к публикации: 28.11.2022

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

The article was submitted to the editorial office: 31.10.2022; approved after review: 23.11.2022; accepted for publication: 28.11.2022

#### *Сведения об авторах:*

**Головина Екатерина Валерьевна**, заместитель начальника научно-исследовательского отдела Уральского института ГПС МЧС России (620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22), кандидат технических наук, e-mail: [ekaterinagolovina@yandex.ru](mailto:ekaterinagolovina@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2999-0752>

**Калач Андрей Владимирович**, профессор кафедры жилищно-коммунального хозяйства Воронежского государственного технического университета (394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), доктор химических наук, профессор, e-mail: [A\\_Kalach@mail.ru](mailto:A_Kalach@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>

#### *Information about the authors:*

**Golovina Ekaterina V.**, deputy head of the research department of the Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia (620062, Yekaterinburg, Mira str., 22), candidate of technical sciences, e-mail: [ekaterinagolovina@yandex.ru](mailto:ekaterinagolovina@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2999-0752>

**Kalach Andrey V.**, professor of the department of housing and communal services of Voronezh state technical university (394006, Voronezh, ul. 20-letiya Oktyabrya, 84), doctor of chemical sciences, professor, e-mail: [A\\_Kalach@mail.ru](mailto:A_Kalach@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>

---

---

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

---

---

Научная статья

УДК 614.841.22; 504.064.2.001.18; 004.89

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ НА ПОЛИГОНАХ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Хайдаров Андрей Геннадьевич.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург, Россия.

✉ Королева Людмила Анатольевна;

Смирнов Алексей Сергеевич.

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

✉ [koroleva.l@igps.ru](mailto:koroleva.l@igps.ru)

*Аннотация.* На свалках и полигонах твердых коммунальных отходов протекают сложные взаимосвязанные биологические и химические процессы, полный контроль над которыми отсутствует. Места захоронения отходов являются объектами повышенной экологической и пожарной опасности.

Приведены теоретические сведения о подземных пожарах на полигонах твердых коммунальных отходов. Обосновано, что одним из основных факторов, влияющих на процессы самовозгорания на полигонах, является температура. Проведен анализ моделей, связывающих температуру, свойства твердых коммунальных отходов и происходящие в теле полигона процессы.

Для исследования линейных моделей проведены экспериментальные исследования температуры воспламенения отходов и их отдельных фракций. Построены температурные профили. Представлены корреляционные зависимости. Определено, что линейные модели имеют ограниченное применение для оценки процессов самовозгорания на полигонах. Они не являются точными и не позволяют оценивать всю совокупность происходящих процессов. Исследование метода конечных элементов показало наличие существенных ограничений при использовании для прогнозирования пожаров на полигонах твердых коммунальных отходов.

Наиболее перспективным является применение искусственных нейронных сетей и машинного обучения. Разработана структура комплексной платформы для риск-ориентированного прогнозирования, снижения экологической и пожарной опасности мест захоронения твердых коммунальных отходов на основе методов искусственного интеллекта с использованием облачных технологий. Определены ее преимущества.

*Ключевые слова:* твердые коммунальные отходы, полигон, подземный пожар, самовоспламенение, температура воспламенения, моделирование, прогнозирование, линейные модели, метод конечных элементов, искусственные нейронные сети, комплексная платформа

**Для цитирования:** Хайдаров А.Г., Королева Л.А., Смирнов А.С. Прогнозирование возникновения и распространения подземных пожаров на полигонах твердых коммунальных отходов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 41–50.

## PREDICTING THE ESTIMATION OF THE EMERGENCE AND SPREAD OF UNDERGROUND FIRES IN MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS

**Khaydarov Andrey G.**

**Saint-Petersburg institute of technology (technical university), Saint-Petersburg, Russia.**

✉ **Koroleva Ludmila A.;**

**Smirnov Alexey S.**

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

✉ *koroleva.l@igps.ru*

*Abstract.* Landfills and solid municipal waste sites have complex interrelated biological and chemical processes that are not fully controlled. Waste disposal sites are objects of high environmental and fire hazards.

Theoretical information about the underground fires at the solid municipal waste landfills is given. It has been substantiated that one of the main factors influencing the processes of spontaneous combustion at disposal sites is temperature. Models linking temperature, properties of solid municipal waste and processes taking place in a landfill body were analyzed.

Experimental studies of the ignition temperature of wastes and their individual fractions were conducted to investigate linear models. Temperature profiles were constructed. The correlation dependencies are presented. It is determined that linear models are of limited use for assessing spontaneous combustion processes in landfills. They are not precise and do not allow evaluating the totality of the processes taking place. A study of the finite element method showed that there are significant limitations when used to predict fires at landfills.

The most promising is the use of artificial neural networks and machine learning. The structure of an integrated platform for risk-oriented forecasting, reduction of environmental and fire hazard of solid municipal waste disposal sites based on artificial intelligence methods using cloud technologies was developed. Its advantages are defined.

*Keywords:* solid municipal waste, landfill, underground fire, self-ignition, ignition temperature, modeling, forecasting, linear models, finite element method; artificial neural networks, integrated platform

**For citation:** Khaidarov A.G., Koroleva L.A., Smirnov A.S. Forecasting the occurrence and spread of underground fires at landfills of solid municipal waste // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 4. P. 41–50.

### Введение

В настоящее время и на ближайшую перспективу основным методом утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО) в Российской Федерации является захоронение на полигонах, куда в настоящее время вывозится более 90 % мусора [1, 2]. Полигоны являются сложными системами, в которых протекают различные взаимосвязанные биологические и химические процессы, влияющие на их структуру, изменяющие состояние окружающей среды. В настоящее время отсутствует полный контроль над внутренними процессами, происходящими в местах захоронения отходов.

Свалки и полигоны являются объектами повышенной экологической и пожарной опасности. Пожары в местах захоронения отходов относятся к достаточно распространенным инцидентам. По официальной статистике они составляют около 14 % от общего количества пожаров в Российской Федерации [3]. Они трудно поддаются тушению и практически не прогнозируются.

Сравнительный анализ пожаров на мусорных свалках показал, что наибольшую опасность представляют подземные пожары [4, 5]. Актуальным является разработка методов

мониторинга и прогнозирования опасных состояний полигонов ТКО, связанных с возникновением таких пожаров.

Цель исследования заключается в обосновании применения искусственных нейронных сетей и машинного обучения для мониторинга состояния полигонов ТКО и прогнозирования опасных ситуаций, связанных с подземными пожарами. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

– определены различия между подземными и поверхностными пожарами с точки зрения их обнаружения, прогнозирования и тушения, выявлены причины и условия возникновения подземных пожаров;

– изучено влияние температуры на возникновение самовоспламенения отходов;

– проведен сравнительный анализ методов математического моделирования и прогнозирования, определены перспективы построения искусственных нейронных сетей и машинного обучения для прогнозирования возникновения подземных пожаров на полигонах.

### Теоретические основы

Возникающие на полигонах пожары можно классифицировать на поверхностные и подземные. Поверхностные затрагивают недавно захороненные или неуплотненные отходы, находящиеся на поверхности и имеющие глубину не более 1 м [4].

Подземные пожары происходят глубоко под поверхностью свалки или внутри мусорных куч. Их причины часто связаны с самовозгоранием отходов вследствие происходящих в них биологических процессов и экзотермических химических реакций. Из-за специфической природы подземные пожары труднее обнаружить и выявить масштабы возгорания, чем поверхностные. Например, дым от пожара может выходить из трещин, находящихся далеко от места возгорания. Тушение подповерхностных пожаров также является трудной задачей, которая, например, осложняется возможностью перехода к пламенному горению в случае притока кислорода. Пожароопасные процессы, протекающие на полигоне ТКО и приводящие к возникновению подземных пожаров, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Пожароопасные процессы, протекающие на полигоне ТКО и приводящие к возникновению подземных пожаров

| Процесс                      | Вид процесса | Химические реакции   | Температура и ее изменение. Тепловыделение  | Продолжительность                                 |
|------------------------------|--------------|--|---|---|
| Гидролиз                     |              | Под действием ферментов протекает биодеструкция легкоразлагаемых фракций ТКО с образованием низкомолекулярных органических веществ | Начальная температура равна температуре окружающей среды. В процессе гидролиза температура в теле полигона повышается   | Несколько месяцев                                 |
| Биологическое самовозгорание | Аэробный     | $C_6H_{12}O_{6(тв)} + 6O_{2(газ)} \rightarrow 6CO_{2(газ)} + 6H_2O_{(ж)};$ $\Delta H^\circ = -2816 \text{ кДж/моль}$               | $T \leq 65 \text{ }^\circ\text{C}$<br>Происходит небольшое снижение количества тепла при переходе с аэробного на анаэробное разложение. Затем температура повышается, что объясняется невысокой теплопроводностью отходов | До 1 года   |
|                              | Анаэробный   | $C_6H_{12}O_{6(тв)} \rightarrow 3CH_{4(газ)} + 3CO_{2(газ)};$ $\Delta H^\circ = -145 \text{ кДж/моль}$                             |   | Кислотная фаза: 1–6 месяцев; метангенная 8–40 лет |

| Процесс                   | Вид процесса         | Химические реакции   | Температура и ее изменение. Тепловыделение  | Продолжительность                                |
|---------------------------|----------------------|--|---|--|
| Химическое самовозгорание | Химическое окисление | По конечным продуктам сходно с аэробным биологическим распадом. Возможны сопутствующие экзотермические реакции. Например, взаимодействие ржавчины и сероводорода, генерируемого микроорганизмами<br>$2FeO(OH) + 3H_2S = 2FeS + S + 4H_2O;$<br>$4FeS + 7O_2 = 2Fe_2O_3 + 4SO_2;$<br>$\Delta H^\circ = -1226 \text{ кДж/моль.}$<br>При химическом окислении скорость производства тепла и потребления кислорода выше, чем при аэробном распаде | $70 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \leq 190 \text{ }^\circ\text{C}$<br>Тепло накапливается в теле полигона         | Определяется наличием кислорода в массе ТКО      |
| Пиролиз                   | Быстрый              | Экзотермический процесс многоступенчатого распада сложных соединений. Продукты реакции $H_2O$ , $CO_2$   | $T > 190 \text{ }^\circ\text{C}$ для быстрого пиролиза. Медленный пиролиз протекает при более низких температурах | Определяется достижением необходимой температуры |
|                           | Медленный            | Эндотермический процесс. Продукты реакции – летучие газы, жидкие гудроны и твердые угли  |   |  |

Одним из основных факторов, влияющих на процессы самовозгорания на полигонах, является температура. Разогревание происходит внутри полигона вследствие протекания экзотермических реакций. Самовозгорание обычно начинается, когда скорость саморазогревания отходов становится больше, чем скорость рассеивания тепла. По мере увеличения размера свалки ее охлаждение значительно замедляется.

### Результаты и их обсуждение

Для оценки возможностей прогнозирования процессов самовозгорания на полигонах ТКО был проведен анализ моделей, связывающих температуру, свойства ТКО и происходящие в теле полигона процессы.

1. Построение линейных моделей и изучение процессов самовоспламенения образцов ТКО осуществлялись по методике, представленной в работе [5]. Образцы помещались в цилиндрическую сетчатую стальную корзину. Температура внутри печи увеличивалась постепенно, начиная с температуры окружающей среды, со скоростью  $3 \text{ }^\circ\text{C/мин.}$  Эксперимент заканчивался при воспламенении образца или при достижении  $535 \text{ }^\circ\text{C}$  – температуры самовоспламенения ( $T_{\text{СВ}}$ ) метана [6], газа, производимого при анаэробном биологическом разложении отходов на свалках. Измерение температуры производилось с использованием трех термопар, закрепленных в центре образца, на его поверхности и в корпусе печи. Сбор данных осуществляет один раз в минуту и выводится на компьютер. Концентрация кислорода отслеживалась постоянно с использованием газоанализатора. Схема установки приведена на рис. 1.

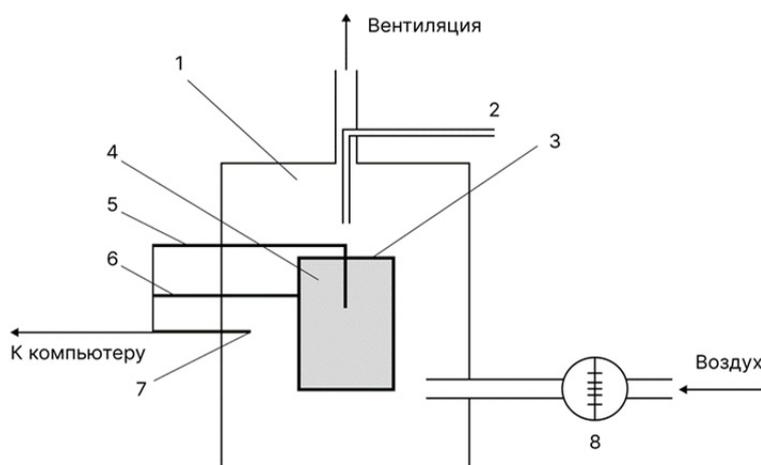


Рис. 1. Схема лабораторной установки для определения температуры самовоспламенения отходов:

1 – программируемая муфельная печь; 2 – газоанализатор; 3 – сетчатая корзина;  
4 – образец; 5, 6 – центральная и поверхностная термопары соответственно;  
7 – термопара печи; 8 – расходомер

Изменение температуры в процессе проведения экспериментов на поверхности и внутри образца представлено на рис. 2.

Температурный профиль поверхности образца был криволинейным. Можно выделить три стадии: 1 – короткая кривая разогревания, начинающаяся с температуры окружающей среды; 2 – линейный рост температуры; 3 – ее экспоненциальное увеличение по мере того, как температура в центре образца становится выше температуры его поверхности или образец воспламеняется.

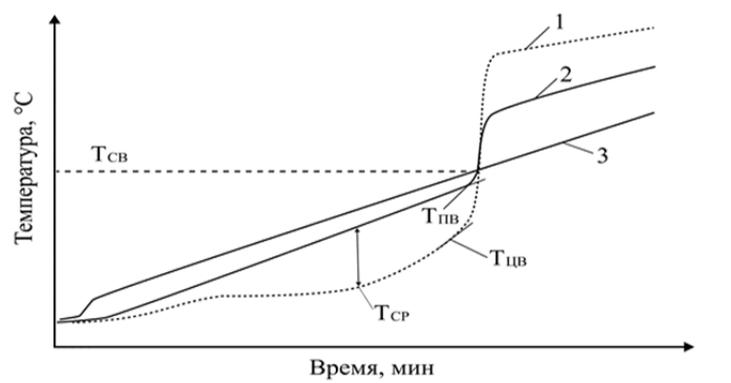


Рис. 2. Типичные температурные профили, наблюдаемые при нагревании образцов ТКО [5]:

1 – в центре образцов; 2 – на поверхности образцов; 3 – в объеме печи;  
 $T_{CB}$  – температура самовоспламенения;  $T_{CP}$  – температура саморазогревания образца;  
 $T_{ЦВ}$  и  $T_{ПВ}$  – температуры в центре и на поверхности образца  
в момент начала воспламенения соответственно

Температура в центре образца в начале эксперимента повышается медленно за счет разогревания печи. Затем наблюдается линейное увеличение температуры до 60–70 °С со скоростью повышения ниже, чем на поверхности. Далее температура в центре выравнивается, что связано с поглощением тепла при улетучивании органических соединений и испарении воды. Через определенное время вновь наблюдается линейное повышение температуры со скоростью выше, чем на поверхности. Увеличение

тепловыделения связано с протекающими экзотермическими реакциями, при этом процессы самонагрева становятся более значительными по сравнению с нагревом в печи.

Таким образом,  $T_{CP}$  считается температурой, при которой преобладает химическое саморазогревание. По мере линейного повышения температуры в центре образца, после прохождения  $T_{CP}$ , температурный профиль принял экспоненциальную форму, что указывает на начало воспламенения, за которым следует горение образца.  $T_{CP}$  определяется по наибольшей разнице между кривой температуры поверхности и кривой температуры центра.  $T_{ЦВ}$  и  $T_{ПВ}$  – это температуры, при которых температурный профиль изменяется от линейного к экспоненциальному.

Для исключения влияния влаги на значение температур, эксперименты проводили с высушенными отходами. Концентрация кислорода соответствовала его содержанию в окружающем воздухе. Результаты определения температур приведены в табл. 2.

Таблица 2. Характерные температуры для температурных кривых, °С

| Компонент твердых отходов:   | $T_{CB}$ | $T_{CP}$ | $T_{ЦВ}$ | $T_{ПВ}$ |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Картон                       | 236      | 129      | 211      | 230      |
| Пищевые отходы               | 401      | 225      | 309      | 258      |
| Бумага                       | 217      | 116      | 228      | 241      |
| Уличный смет и остатки травы | 293      | 127      | 198      | 225      |
| Текстиль (хлопок)            | 431      | 184      | 296      | 270      |
| Текстиль (шерсть)            | 319      | 131      | 281      | 284      |
| Текстиль (смешанный)         | 334      | 132      | 181      | 217      |
| ТКО                          | 287      | 127      | 204      | 236      |

Были определены линейные корреляционные зависимости:

$$T_{CP} = 0,33\rho + 84,2; R^2 = 0,76, \quad (1)$$

где  $\rho$  – удельный вес образца, кг/м<sup>3</sup>;  $R^2$  – достоверность аппроксимации.

$$T_{CB} = 0,76\rho + 168; R^2 = 0,84. \quad (2)$$

$$T_{CB} = 0,7639\rho + 3,376 \times 10^{-6}EC + 112,9; R^2 = 0,87, \quad (3)$$

где  $EC$  – удельное содержание энергии (Дж/кг).

Невысокие значения  $R^2$  в уравнениях (1–3), низкая корреляция между  $T_{ЦВ}$  и  $T_{ПВ}$  указывают, что температура самовоспламенения является результатом коллективного эффекта от воздействия других параметров.

Таким образом, можно констатировать, что линейные модели могут иметь очень ограниченное применение для оценки процессов самовозгорания на полигонах ТКО. Они не отличаются точностью и не позволяют оценивать всю совокупность происходящих в теле полигона процессов.

2. Метод конечных элементов, главным преимуществом которого является возможность разбиения на конечные элементы области любой формы и осуществления расчета температурных полей на полигоне ТКО [7–9].

Например, в работе [9] последовательность разработки модели включала следующие стадии:

- построение ступенчатой функции для представления начальных (аэробных) и остаточных (анаэробных) условий;
- установление экспоненциальной функции роста-распада биомассы;
- масштабирование функции для получения температурной зависимости;
- разработка модели, позволяющей прогнозировать выделение тепла в зависимости от температуры с учетом возраста отходов.

Однако следует отметить, что реализация метода конечных элементов при прогнозировании пожаров на полигоне ТКО имеет ряд существенных ограничений. Полученные результаты расчета температурных полей зависят от выбора (построения) сетки конечных элементов. Значительные трудности возникают при оценке точности получаемых результатов. Ситуация усугубляется тем, что каждый объект захоронения отходов имеет уникальную форму и уникальный перечень опасностей.

3. Наиболее перспективными, на взгляд авторов, являются методы прогнозирования с помощью искусственных нейронных сетей и машинного обучения, что подтверждается рядом отечественных и зарубежных исследований [10, 11].

Так, в работе [10] была разработана модель искусственной нейронной сети для моделирования и прогнозирования температур поверхности свалки, основанная на использовании спутниковых снимков. Относительно высокие коэффициенты корреляции, полученные в процессе валидации искусственной нейронной сети, указывают на то, что она является эффективным инструментом для прогнозирования температур поверхности свалки на полигоне.

Однако такие модели для мониторинга и прогнозирования подземных пожаров на полигоне ТКО, как в России, так и за рубежом отсутствуют.

Предлагается разработать комплексную платформу для риск-ориентированного прогнозирования, снижения экологической и пожарной опасности полигонов и несанкционированных свалок ТКО на основе методов искусственного интеллекта с использованием облачных технологий. Структура платформы представлена на рис. 3.

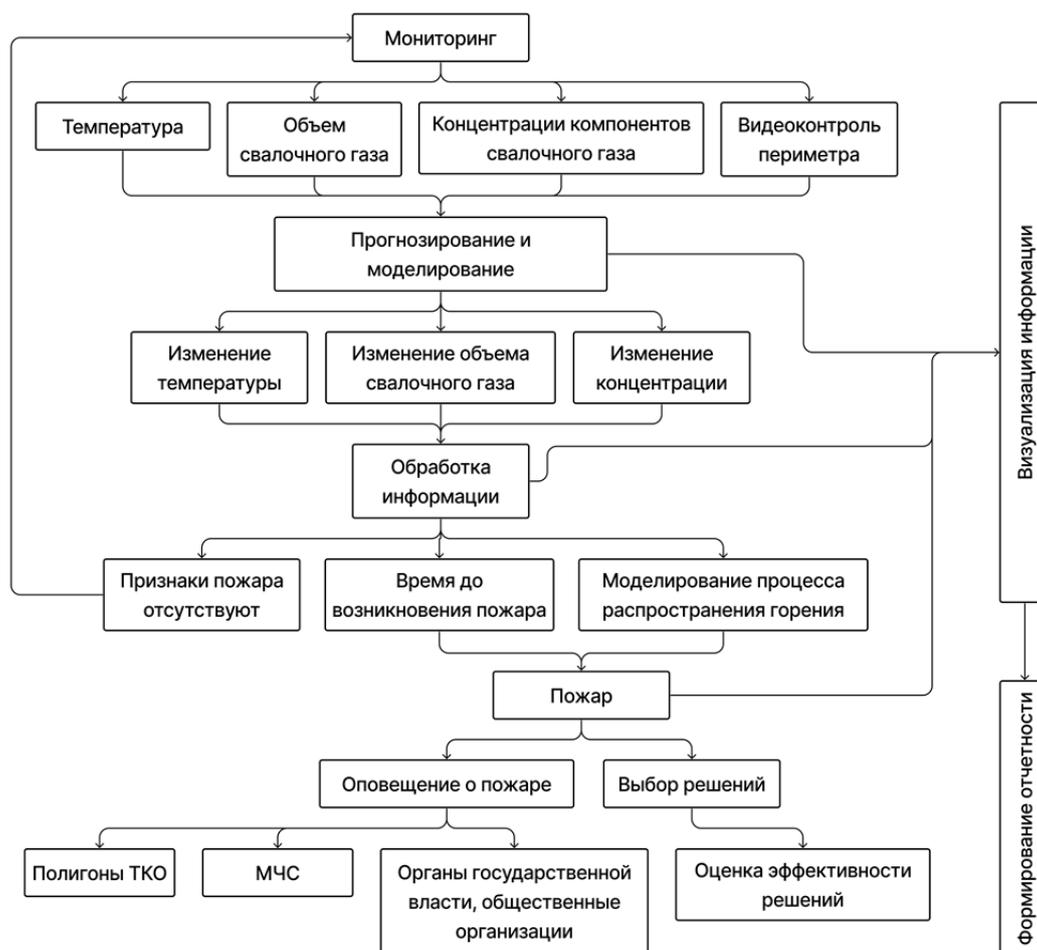


Рис. 3. Структура комплексной платформы

Комплексная платформа состоит из двух модулей: 1 – «Мониторинг и прогнозирование состояния мест захоронения отходов ТКО» – комплексное ИТ-решение, объединяющее технологии цифрового двойника полигона и видеоаналитики; 2 – «Система поддержки принятия решений» – компьютерная автоматизированная система, которая включает пользовательский интерфейс и программные интеллектуальные средства для принятия решений, направленных на снижение пожарного и экологического рисков.

Разработка и применение моделей анализа и прогнозирования состояния полигонов ТКО на основе методов искусственного интеллекта с применением нейронных сетей позволит осуществлять сбор информации в режиме реального времени; определять время до возникновения «ключевых событий» (например, пожаров) на полигоне; обнаруживать скрытые очаги горения, определять их местоположение, площадь и границы; идентифицировать происходящие в теле полигона процессы и учитывать влияющие на них факторы; формировать и обосновывать решения, направленные на тушение пожаров и проведение заблаговременных мероприятий по снижению пожарного и экологического рисков; подключать к разрабатываемой платформе неограниченное количество полигонов.

### Заключение

Несмотря на довольно обширные исследования, методы и процессы моделирования и прогнозирования процессов, происходящих внутри полигона, требуют совершенствования.

Линейные модели не отличаются точностью и не учитывают всю совокупность происходящих в теле полигона процессов и влияющие на них факторы. Реализация метода конечных элементов имеет ряд существенных ограничений: зависимость полученных результатов от выбора сетки конечных элементов, наличие трудностей в оценке их точности, необходимость разработки отдельно для каждого полигона.

Наиболее перспективным является использование искусственных нейронных сетей и машинного обучения. Разработана структура комплексной платформы для риск-ориентированного прогнозирования, снижения экологической и пожарной опасности мест захоронения ТКО на основе методов искусственного интеллекта с использованием облачных технологий, определены ее преимущества.

### Список источников

1. Анализ выполнения мероприятий, обеспечивающих экологическую безопасность Российской Федерации, в части ликвидации объектов накопленного вреда и формирования комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами: отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия // Бюл. Счетной палаты Рос. Федерации. 2020. № 9 (274). С. 6–43.

2. Попов В.М., Кирильчук И.О., Коровина А.Ю. Совершенствование системы комплексного мониторинга полигонов твердых коммунальных отходов // Известия Юго-Западного гос. ун-та. Сер.: Техника и технологии. 2017. Т. 7. № 4 (25). С. 60–71.

3. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статист. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.

4. Экспериментальное исследование состава продуктов горения твердых коммунальных отходов / И.Р. Хасанов [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 2 (39). С. 108–114.

5. Moqbel S. Characterizing Spontaneous Fires In Landfills. Ph. D. Thesis. USA: University of Central Florida, Orlando, 2009. 102 p. URL: <https://stars.library.ucf.edu/etd/3855/> (дата обращения: 20.08.2022).

6. Корольченко А.Я., Корольченко Д.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства из тушения: справ.: 2-е изд., перераб. и доп. М.: Асс. «Пожнаука», 2004. Ч. 1. 713 с.; Ч. 2. 774 с.

7. Середа Т.Г. Решение контактной задачи теплопроводности на полигонах твердых бытовых отходов // Фундаментальные исследования. 2014. № 12 (part 5). Р. 936–940.

8. Мишин А.А. Моделирование нестационарных температурных полей с использованием совместных конечноэлементных схем // Вестник ВГТУ. 2009. № 10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-nestatsionarnyh-temperaturnyh-poley-s-ispolzovaniem-sovmestnyh-konechnoelementnyh-shem> (дата обращения: 29.08.2022).
9. Development of numerical model for predicting heat generation and temperatures in MSW landfills / J.L. Hanson [et al.] // Waste management. 2013. Vol. 33 (10). P. 1993–2000.
10. Qdaisa H.A., Shatnaw N. Assessing and predicting landfill surface temperature using remote sensing and an artificial neural network // International Journal of Remote Sensing. 2019. Vol. 40. Iss. 24. P. 9556–9571.
11. Autonomous safety system for MSW landfills / A. Titov [et al.] // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 161. P. 01043.

## References

1. Analiz vypolneniya meropriyatij, obespechivayushchih ekologicheskuyu bezopasnost' Rossijskoj Federacii, v chasti likvidacii ob'ektov nakoplennogo vreda i formirovaniya kompleksnoj sistemy obrashcheniya s tverdymi kommunal'nymi othodami: otchet o rezul'tatah ekspertno-analiticheskogo meropriyatiya // Byul. Schetnoj palaty Ros. Federacii. 2020. № 9 (274). S. 6–43.
2. Popov V.M., Kiril'chuk I.O., Korovina A.Yu. Sovershenstvovanie sistemy kompleksnogo monitoringa poligonov tverdyh kommunal'nyh othodov // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gos. un-ta. Ser.: Tekhnika i tekhnologii. 2017. T. 7. № 4 (25). S. 60–71.
3. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu: statist. sb. Balashiha: FGBU VNIPO MCHS Rossii, 2022. 114 s.
4. Eksperimental'noe issledovanie sostava produktov goreniya tverdyh kommunal'nyh othodov / I.R. Hasanov [i dr.] // Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity. 2021. № 2 (39). S. 108–114.
5. Moqbel S. Characterizing Spontaneous Fires In Landfills. Ph. D. Thesis. USA: University of Central Florida, Orlando, 2009. 102 p. URL: <https://stars.library.ucf.edu/etd/3855/> (data obrashcheniya: 20.08.2022).
6. Korol'chenko A.Ya., Korol'chenko D.Ya. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva iz tusheniya: sprav.: 2-e izd., pererab. i dop. M.: Ass. «Pozhnauka», 2004. Ch. 1. 713 s.; ch. 2. 774 s.
7. Sereda T.G. Reshenie kontaktnoj zadachi teploprovodnosti na poligonah tverdyh bytovyh othodov // Fundamental'nye issledovaniya. 2014. № 12 (part 5). P. 936–940.
8. Mishin A.A. Modelirovanie nestacionarnyh temperaturnyh polej s ispol'zovaniem sovmestnyh konechnoelementnyh skhem // Vestnik VGTU. 2009. № 10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-nestatsionarnyh-temperaturnyh-poley-s-ispolzovaniem-sovmestnyh-konechnoelementnyh-shem> (data obrashcheniya: 29.08.2022).
9. Development of numerical model for predicting heat generation and temperatures in MSW landfills / J.L. Hanson [et al.] // Waste management. 2013. Vol. 33 (10). P. 1993–2000.
10. Qdaisa N.A., Shatnaw N. Assessing and predicting landfill surface temperature using remote sensing and an artificial neural network // International Journal of Remote Sensing. 2019. Vol. 40. Iss. 24. P. 9556–9571.
11. Autonomous safety system for MSW landfills / A. Titov [et al.] // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 161. P. 01043.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 01.10.2022; одобрена после рецензирования: 21.10.2022;  
принята к публикации: 24.10.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 01.10.2022; approved after review: 21.10.2022;  
accepted for publication: 24.10.2022

*Информация об авторах:*

**Хайдаров Андрей Геннадьевич**, доцент кафедры бизнес-информатики Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 24–26/49, лит. А), кандидат технических наук, доцент, e-mail: andreyhaydarov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0693-8027>

**Королева Людмила Анатольевна**, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: koroleva.l@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5661-5774>

**Смирнов Алексей Сергеевич**, 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

*Information about the authors:*

**Khaydarov Andrey G.**, associate professor of the department of business informatics of the Saint-Petersburg state technological institute (technical university) (190013, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 24-26/49, lit. A), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: andreyhaydarov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0693-8027>

**Koroleva Lyudmila A.**, professor of the department of fire, rescue equipment and automotive industry of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: koroleva.l@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5661-5774>

**Smirnov Alexey S.**, 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

Научная статья

УДК 614.849

## **МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ-112 И АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ**

✉Тимошенко Артем Леонидович;

Елисеев Игорь Борисович;

Войтенко Олег Викторович.

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

✉[artem18181@gmail.com](mailto:artem18181@gmail.com)

*Аннотация.* Исследование направлено на обоснование способа снижения числа аварий, связанных с пожарными автомобилями, а также специальным транспортом экстренных служб. Предложена модель взаимодействия системы-112 и автоматизированной системы управления дорожным движением, описаны этапы её интеграции. Рассматривается вариант внедрения функции обеспечения приоритета проезда транспорта служб экстренного реагирования как в режиме полной динамической адаптации, так и в режиме координированного управления. В рамках улучшения условий движения транспорта на улично-дорожной сети городов России создана Автоматизированная система управления дорожным движением, включающая в себя управляемые светофорные объекты в различных режимах, в том числе автоматическом, дорожные знаки, динамические информационные табло, датчики транспортных потоков и видеокамеры. При взаимодействии Единой дежурно-диспетчерской службы системы-112 с Центральным пунктом управления и использовании Автоматизированной системы управления дорожным движением диспетчер Единой дежурно-диспетчерской службы системы-112 получит возможность координировать маршрут следования и регулировать режим работы светофорных и других дорожных объектов в целях своевременного и безопасного прибытия подразделений пожарной охраны на место вызова. В условиях стремительного развития новых технологий необходима периодическая корректировка и обновление существующих правил и рекомендаций. В исследовании предложен ряд профилактических мероприятий, направленных на решение описанных проблем.

*Ключевые слова:* авария, экстренные службы, спецтранспорт, приоритет

**Для цитирования:** Тимошенко А.Л., Елисеев И.Б., Войтенко О.В. Модель взаимодействия системы-112 и Автоматизированной системы управления дорожным движением в Санкт-Петербурге // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 51–59.

## **MODEL OF INTERACTION BETWEEN SYSTEM-112 AND THE AUTOMATED TRAFFIC CONTROL SYSTEM IN SAINT-PETERSBURG**

✉Timoshenko Artem L.;

Eliseev Igor B.;

Voitenok Oleg V.

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

✉[artem18181@gmail.com](mailto:artem18181@gmail.com)

*Abstract.* The study is aimed at substantiating a way to reduce the number of accidents associated with fire trucks, as well as special transport of emergency services. A model of interaction between the system-112 and an automated traffic control system is proposed,

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

the stages of its integration are described. The option of implementing the function of ensuring the priority of transportation of emergency response services both in the mode of full dynamic adaptation and in the mode of coordinated management is being considered. As part of the improvement of traffic conditions on the road network of Russian cities, an Automated traffic control system has been created, which includes controlled traffic light objects in various modes, including automatic, road signs, dynamic information boards, traffic flow sensors and video cameras. When interacting with the Unified duty and dispatch service of the system-112 with the Central control point and using an Automated traffic control system, the dispatcher of the Unified duty and dispatch service of the system-112 will be able to coordinate the route and regulate the operating mode of traffic lights and other road facilities in order to timely and safe arrival of fire protection units at the place of call. In the conditions of rapid development of new technologies, periodic adjustments and updates of existing rules and recommendations are necessary. The study suggests a number of preventive measures aimed at solving the described problems.

*Keywords:* accident, emergency services, special vehicles, priority

**For citation:** Timoshenko A.L., Eliseev I.B., Voitenok O.V. Model of interaction between system-112 and the Automated traffic control system in Saint-Petersburg // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 4. P. 51–59.

## Введение

Рост аварий, связанных с автомобильными транспортными средствами, является результатом интенсивного развития транспортной инфраструктуры. Одновременно с ростом данного показателя увеличивается количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в которых участвует автотранспорт экстренных служб реагирования.

Анализируя последние исследования и публикации, в которых рассматривались аспекты проблемы развития подсистем и построения моделей Автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУДД), сделан вывод, что в данных работах не рассматривались подсистемы и модели, связанные с взаимодействием АСУДД и системы-112 [1, 2]. Выяснено, что в комплекс функций аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» не входит функция обеспечения приоритета проезда транспорта служб экстренного реагирования, что в значительной степени влияет на доставку личного состава, аварийно-спасательного и пожарно-технического вооружения, огнетушащих веществ к месту вызова [3–6]. Также рассмотрены зарубежные интеллектуальные системы управления движением, которые, в свою очередь, обеспечивают приоритет автомобилей экстренных служб при проезде перекрестков, оборудованных светофорами [7–10]. Нельзя не отметить, что в принятой в 2019 г. Правительством Санкт-Петербурга Комплексной схеме организации дорожного движения изложены основные задачи, решаемые подразделениями Единого центра управления дорожным движением совместно с оперативными службами (МВД, МЧС, ФСБ, скорой помощью) [11]. В них входят такие задачи, как управление дорожным движением в городе, эксплуатация, профилактика и сервисное обслуживание оборудования и инженерных систем АСУДД, обеспечение безопасности и предотвращение чрезвычайных ситуаций (ЧС) и взаимосвязанный с ними комплекс задач по ликвидации последствий ЧС. В данном документе также не рассматриваются задачи по решению проблем, связанных с обеспечением приоритета проезда транспорта оперативных служб города.

## Методы исследования

Цель исследования заключается в обосновании способа снижения числа аварий, связанных с пожарными автомобилями и специальным транспортом экстренных служб, а также в уменьшении времени следования специального транспорта к месту вызова.

Снижение данного показателя возможно при внедрении и круглосуточном использовании функции обеспечения приоритета проезда транспорта служб экстренного реагирования как в режиме полной динамической адаптации, так и в режиме координированного управления. Обеспечение приоритета возможно осуществить в рамках интеграции и использования автоматизированных систем при следовании специального транспорта на место ЧС: системы управления движением на светофорных объектах и внешней системы диспетчеризации и мониторинга движения приоритетного транспорта (видеонаблюдение, датчики контроля).

В связи с вышеизложенным, в рамках исследования темы проведён анализ существующей АСУДД. Проанализированы факторы, влияющие на время следования спецавтотранспорта экстренных служб, а также причины возникновения дорожно-транспортных происшествий со спецавтотранспортом экстренных служб. Предложено и обосновано с применением метода микромоделирования использование функции обеспечения приоритета проезда транспорта служб экстренного реагирования.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

АСУДД реализована в целях автоматизированного и автоматического сбора, обработки и анализа характеристик транспортного потока в реальном времени, дорожных, метеорологических и других условий, которые могут влиять на движение городского транспорта, выявлять и классифицировать инциденты, выбирать оптимальный вариант решения на базе предвиденных сценариев управления в автоматическом, автоматизированном и ручном режиме, информирования водителей и пешеходов, экстренных служб и других участников дорожного движения.

### **Использование и реализация АСУДД**

Решение задач обеспечения безопасности и предотвращения ЧС и взаимосвязанный с ними комплекс задач по ликвидации последствий ЧС обеспечивают подразделения МЧС России по Санкт-Петербургу при взаимодействии с подразделениями Единого центра управления дорожным движением (ЕЦУДД) и Федеральной службой охраны по Санкт-Петербургу.

Препятствием при интеграции АСУДД в систему-112 является то, что существующие АСУДД находятся в ведении Правительства Санкт-Петербурга, ФКУ «ДСТО», ФКУ «Севзапуправтотор», ФКП «Дирекция КЗС», ОАО «Западный скоростной диаметр» (платная дорога) и т.д. Созданные АСУДД не взаимодействуют друг с другом, что существенно снижает качество управления транспортными потоками и негативно сказывается на пропускной способности объектов транспортной инфраструктуры.

Этапы интеграции модели взаимодействия системы-112 и АСУДД.

Этап 1. Создание на территории города пилотной зоны по внедрению системы взаимодействия и модернизация имеющихся АСУДД для взаимодействия рассматриваемых систем.

На первом этапе необходимо решить нижеперечисленные задачи:

- создание и утверждение необходимых нормативно-правовых актов, предусматривающих взаимодействие АСУДД с системой-112 населенного пункта;
- создание рабочей группы для отработки методологии развертывания и функционирования модели взаимодействия систем;
- определение наборов и типов данных, подлежащих обмену и предоставляемых локальными АСУДД операторам ЕЦУДД и системы-112;
- создание механизмов информационного обмена;

– создание/настройка модулей обмена данными для работы в составе интеграционной платформы.

Этап 2. Создание координационного центра для решения задач подразделений ЕЦУДД совместно с экстренными службами.

На втором этапе должны быть решены следующие задачи:

– организация совместной подготовки диспетчерского персонала ЕЦУДД, Единой дежурно-диспетчерской службы (ЕДДС) и оперативных служб по работе с аппаратно-программным комплексом;

– проведение испытаний аппаратно-программного комплекса, опытная эксплуатация модели взаимодействия систем;

– создание комиссии по принятию результатов работ по проекту;

– доработка технического проекта, документации и поставка необходимых технических средств.

Возможная структура аппаратно-программного комплекса системы-112 при взаимодействии с АСУДД представлена на рис. 1.

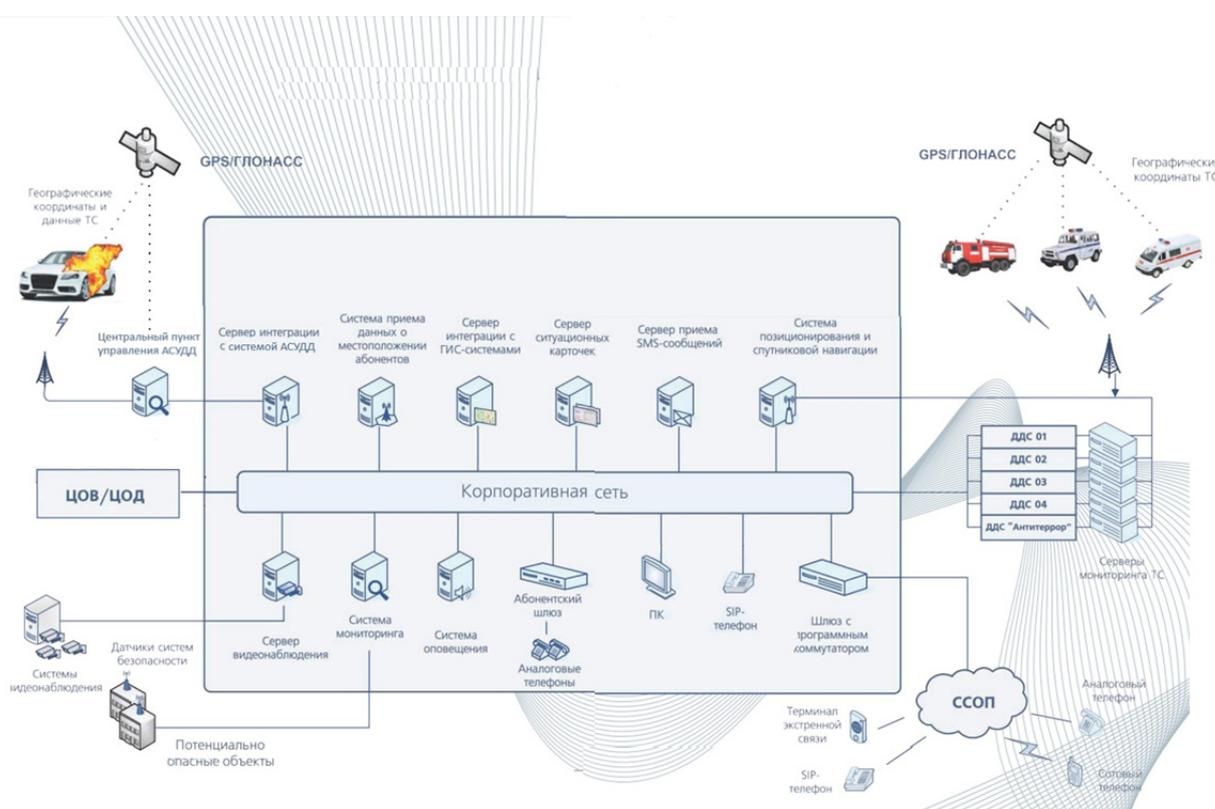
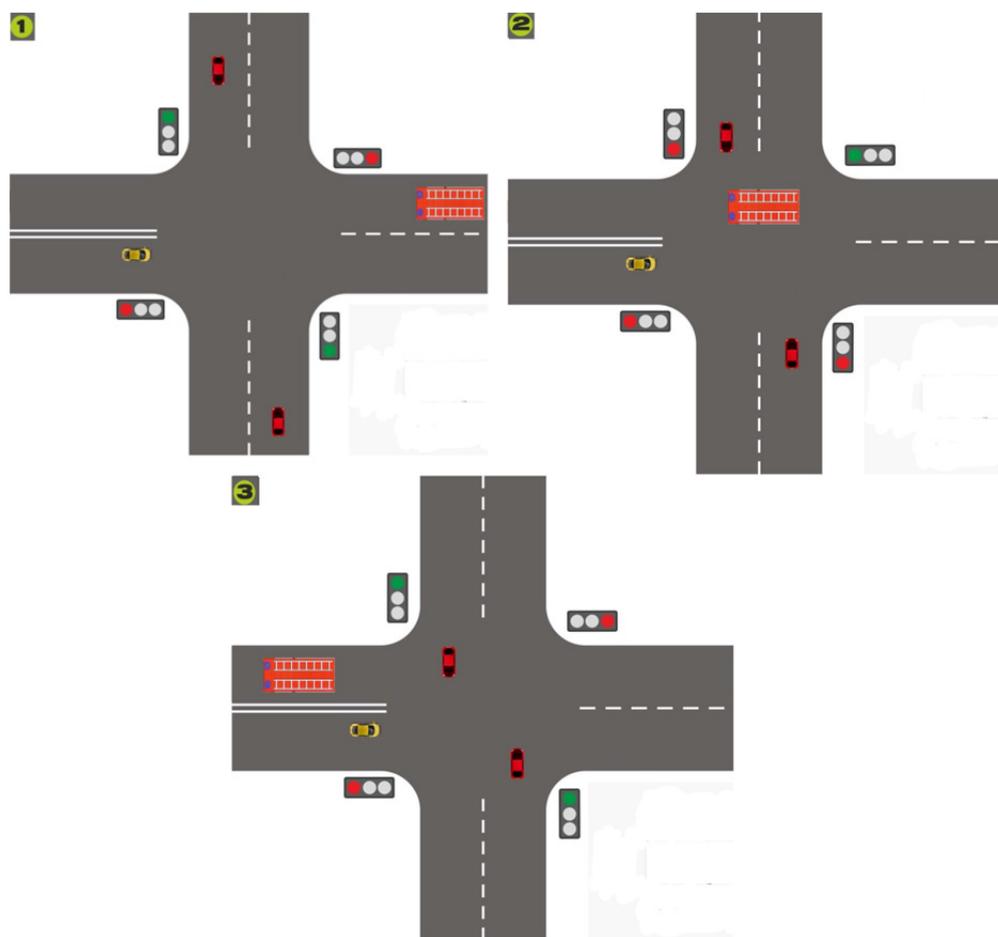


Рис. 1. Вариант структуры аппаратно-программного комплекса системы-112 при взаимодействии с АСУДД:

ТС – транспортные средства; ЦОВ – центр обработки вызовов; ЦОД – центр обработки данных

В режиме полной динамической адаптации АСУДД функция приоритета будет основана на точно предсказанном (рассчитанном) времени прибытия единицы общественного транспорта на светофорный объект. Система для выработки команды приоритета проезда перекрестка будет использовать свою собственную информацию, полученную с локального уровня (уровня светофорного объекта), и информацию, предоставленную системой-112.

На рис. 2 представлен принцип работы функции обеспечения приоритета проезда транспорта служб экстренного реагирования на регулируемом перекрестке.



**Рис. 2. Принцип работы функции обеспечения приоритета проезда транспорта служб экстренного реагирования на регулируемом перекрестке**

Функция дает возможность включать зеленый сигнал светофора на всем пути следования пожарного автомобиля, а затем возвращать светофор в нормальный режим работы с последующим восстановлением движения на пройденном участке маршрута.

К главным видам ДТП с участием пожарных автомобилей относятся: наезды на неподвижные препятствия, столкновения, опрокидывания, наезды на пешеходов. Причиной таких ДТП, как правило, является непредоставление преимущества в движении пожарным автомобилям с включенными проблесковым маячком синего цвета и специальным звуковым сигналом.

Как известно, время прибытия пожарных на объект не должно превышать 10 мин для городских населенных пунктов и 20 мин для сельских поселений. В крупных городах в условиях напряженного городского движения время прибытия пожарных к месту ЧС увеличивается, а в некоторых случаях превышает установленный требованиями норматив [12].

Таким образом, с целью снижения времени прибытия сил и средств к месту происшествия и предупреждения происшествий с пожарными автомобилями на дорожных путях авторами предложен комплекс организационно-технических мероприятий [13].

Актуальным направлением при снижении количества аварий среди спецтранспорта экстренного реагирования и повышения их оперативности при следовании на место вызова является взаимодействие диспетчерских служб системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» на территории города при возникновении инцидентов, нештатных и ЧС с операторами ЕЦУДД путем реализации предлагаемых мероприятий и рекомендаций, использованием современных технологий управления дорожного движения.

В свою очередь, успешная интеграция АСУДД в дорожную сеть города с большой вероятностью позволит снизить транспортные задержки, повысить пропускную способность улично-дорожной сети, что, в свою очередь, сократит выброс вредных веществ в атмосферу, а также повысит безопасность дорожного движения. Реализация и интеграция данной модели в АСУДД позволит сократить время прибытия экстренных служб на место вызова [14, 15].

Службы спасения уделяют большое внимание мероприятиям, связанным с предупреждением пожаров и реагированием на них. Оперативный приезд экстренных служб к месту возникновения ЧС является важнейшей из задач. Ведь именно от своевременности проведения спасательных мероприятий зависят жизни людей. Функция обеспечения приоритета проезда транспорта служб экстренного реагирования, которая будет реализована в Санкт-Петербурге, как часть адаптивной системы управления дорожным движением, даст возможность оперативно включать зелёный знак светофора на всём пути следования спецтранспорта, а затем возвращать систему в нормальный режим работы. Таким образом, одна из основных задач модели – ускорение передвижения автомобилей экстренных служб на улично-дорожной сети и последующее восстановление движения на пройденных участках маршрута.

### Заключение

Комплексный подход к достижению показателя снижения числа аварий, связанных с пожарными автомобилями и специальным транспортом экстренных служб, а также в уменьшении времени следования специального транспорта к месту вызова, требует ряда решений:

1. Выявление причин возникновения ДТП со спецавтотранспортом экстренных служб.
2. Выявление факторов, влияющих на время следования спецавтотранспорта экстренных служб.
3. Разработка модели взаимодействия системы-112 и АСУДД.
4. Разработка варианта внедрения функции обеспечения приоритета проезда транспорта служб экстренного реагирования.
5. Разработка комплекса дополнительных профилактических мероприятий, направленных на снижение числа аварий, связанных с пожарными автомобилями и специальным транспортом экстренных служб, а также уменьшение времени следования специального транспорта к месту вызова.

Предлагаемые пути реализации идеи актуальны не только для подразделений пожарной охраны, но и для других экстренных служб (МВД, ФСБ, скорая помощь и т.д.). Предложенные мероприятия уже зарекомендовали себя и активно используются в зарубежных развитых странах [16]. А функция обеспечения приоритета проезда пожарных автомобилей уже частично интегрирована в интеллектуальную транспортную систему г. Казани компанией «Инспектра».

### Список источников

1. Абрамова Л.С. Модели управления дорожным движением для АСУДД // Вестник ХНАДУ. 2010. № 50.
2. Агуреев И.Е., Митюгин В.А., Фролов Н.А. Проблемы и перспективы развития автоматизированных систем управления дорожным движением // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта: материалы Междунар. очно-заочной науч.-техн. конф. Тула: Тульский гос. ун-т, 2017. С. 304–310.
3. Кропотова Н.А. Анализ достигнутых результатов внедрения АПК «Безопасный город» на территории Санкт-Петербурга // NovaInfo.Ru. 2020. № 115. С. 90–94.
4. Губанов Н.Н., Шевченко И.А. Интеллектуальная комплексная система «Безопасный город» // Вестник СевКавГТИ. 2014. № 17. С. 70–73.

5. Калач А.В., Попрядухин Д.С. Перспективы развития системы-112 с учетом реализации в Российской Федерации инфраструктурного проекта «АПК «Безопасный город» (на примере Курской области) // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2015. № 4 (17).
6. Мусяенко Т.В., Ложкин В.Н. Цифровые информационные технологии аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» на примере транспорта Санкт-Петербурга // *Транспорт России: проблемы и перспективы – 2019: материалы междунар. науч.-практ. конф.* СПб.: Ин-т проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2019. С. 13–16.
7. BSV-PAGS: Blockchain-based special vehicles priority access guarantee scheme / Y. Wang [et al.] // *Computer Communications*. 2020. Т. 161. С. 28–40.
8. Dumka A., Sah A. Smart ambulance traffic management system (SATMS). A support for wearable and implantable medical devices // *Wearable and Implantable Medical Devices*. Academic Press. 2020. С. 215–228.
9. Asaduzzaman M., Vidyasankar K. A priority algorithm to control the traffic signal for emergency vehicles // *2017 IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*. IEEE. 2017. С. 1–7.
10. A secured privacy-preserving multi-level blockchain framework for cluster based VANET / Akhter A.F.M.S. [et al.] // *Sustainability*. 2021. Т. 13. № 1. С. 400.
11. Об утверждении Комплексной схемы организации дорожного движения Санкт-Петербурга: Распоряжение Правительства Санкт-Петербурга от 26 нояб. 2019 г. № 552-п // Администрация Санкт-Петербурга. URL: [https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/tr\\_infr\\_kom/tekobjekt/ksodd/](https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/tr_infr_kom/tekobjekt/ksodd/) (дата обращения: 07.09.2022).
12. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ // *Рос. газ.* 2008. № 163. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/27899> (дата обращения: 07.09.2022).
13. Тимошенко А.Л., Самигуллин Г.Х. Обеспечение безопасности дорожного движения и оперативности при следовании подразделений пожарной охраны на место вызова // *Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. материалов XV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых*. Минск: УГЗ, 2021. Т. 1. Ч. 1. С. 271–273.
14. Воднев С.А., Матвеев А.В. Оценка эффективности реагирования аварийно-спасательных служб на чрезвычайные ситуации на транспорте // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2019. № 2 (50). С. 110–117. EDN XDDTYZ.
15. Matveev A., Maksimov A., Vodnev S. Methods improving the availability of emergency-rescue services for emergency response to transport accidents // *Transportation Research Procedia*. SPb.: Elsevier, 2018. P. 507–513. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.137. EDN AWTRJK.
16. Pasnak I., Renkas A. Optimization of the duration of emergency vehicle movement to the place of fire // *Transport problems*. 2020. Т. 15. № 1. P. 117–124.

## References

1. Abramova L.S. Modeli upravleniya dorozhnym dvizheniem dlya ASUDD // *Vestnik HNADU*. 2010. № 50.
2. Agureev I.E., Mityugin V.A., Frolov N.A. Problemy i perspektivy razvitiya avtomatizirovannyh sistem upravleniya dorozhnym dvizheniem // *Problemy issledovaniya sistem i sredstv avtomobil'nogo transporta: materialy Mezhdunar. ochno-zaochnoj nauch.-tekhn. konf.* Tula: Tul'skij gos. un-t, 2017. S. 304–310.
3. Kropotova N.A. Analiz dostignutyh rezul'tatov vnedreniya APK «Bezopasnyj gorod» na territorii Sankt-Peterburga // *NovaInfo.Ru*. 2020. № 115. S. 90–94.
4. Gubanov N.N., Shevchenko I.A. Intellektual'naya kompleksnaya sistema «Bezopasnyj gorod» // *Vestnik SevKavGTI*. 2014. № 17. S. 70–73.

5. Kalach A.V., Popryaduhin D.S. Perspektivy razvitiya sistemy-112 s uchetom realizacii v Rossijskoj Federacii infrastruktornogo proekta «APK «Bezopasnyj gorod» (na primere Kurskoj oblasti) // *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*. 2015. № 4 (17).

6. Musienko T.V., Lozhkin V.N. Cifrovye informacionnye tekhnologii apparatno-programmnogo kompleksa «Bezopasnyj gorod» na primere transporta Sankt-Peterburga // *Transport Rossii: problemy i perspektivy – 2019: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.: In-t problem transporta im. N.S. Solomenko RAN*, 2019. S. 13–16.

7. BSV-PAGS: Blockchain-based special vehicles priority access guarantee scheme / Y. Wang [et al.] // *Computer Communications*. 2020. T. 161. S. 28–40.

8. Dumka A., Sah A. Smart ambulance traffic management system (SATMS). A support for wearable and implantable medical devices // *Wearable and Implantable Medical Devices*. Academic Press. 2020. S. 215–228.

9. Asaduzzaman M., Vidyasankar K. A priority algorithm to control the traffic signal for emergency vehicles // *2017 IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*. IEEE. 2017. S. 1–7.

10. A secured privacy-preserving multi-level blockchain framework for cluster based VANET / Akhter A.F.M.S. [et al.] // *Sustainability*. 2021. T. 13. № 1. S. 400.

11. Ob utverzhenii Kompleksnoj skhemy organizacii dorozhnogo dvizheniya Sankt-Peterburga: Rasporyazhenie Pravitel'stva Sankt-Peterburga ot 26 noyab. 2019 g. № 552-r // *Administraciya Sankt-Peterburga*. URL: [https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/tr\\_infr\\_kom/tekobjekt/ksodd/](https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/tr_infr_kom/tekobjekt/ksodd/) (data obrashcheniya: 07.09.2022).

12. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ // *Ros. gaz*. 2008. № 163. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/27899> (data obrashcheniya: 07.09.2022).

13. Timoshenko A.L., Samigullin G.H. Obespechenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya i operativnosti pri sledovanii podrazdelenij pozharnoj ohrany na mesto vyzova // *Obespechenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: problemy i perspektivy: sb. materialov XV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh*. Minsk: UGZ, 2021. T. 1. Ch. 1. S. 271–273.

14. Vodnev S.A., Matveev A.V. Ocenka effektivnosti reagirovaniya avarijno-spatatel'nyh sluzhb na chrezvychajnye situacii na transporte // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2019. № 2 (50). S. 110–117. EDN XDDTYZ.

15. Matveev A., Maksimov A., Vodnev S. Methods improving the availability of emergency-rescue services for emergency response to transport accidents // *Transportation Research Procedia*. SPb.: Elsevier, 2018. P. 507–513. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.137. EDN AWTRJK.

16. Psnak I., Renkas A. Optimization of the duration of emergency vehicle movement to the place of fire // *Transport problems*. 2020. T. 15. № 1. P. 117–124.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 07.10.2022; одобрена после рецензирования: 25.10.2022; принята к публикации: 07.11.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 07.10.2022; approved after review: 25.10.2022; accepted for publication: 07.11.2022

*Сведения об авторах:*

**Тимошенко Артем Леонидович**, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [artem18181@gmail.com](mailto:artem18181@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3927-5613>

**Елисеев Игорь Борисович**, старший преподаватель кафедры специальной подготовки Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: [eliseeff.gosha2014@yandex.ru](mailto:eliseeff.gosha2014@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6199-5687>

**Войтенко Олег Викторович**, доцент кафедры специальной подготовки Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [vogps@igps.ru](mailto:vogps@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5501-6232>

*Information about the authors:*

**Timoshenko Artem L.**, postgraduate student of the faculty of training of highly qualified personnel of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: [artem18181@gmail.com](mailto:artem18181@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3927-5613>

**Eliseev Igor B.**, senior lecturer of the special training department of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: [eliseeff.gosha2014@yandex.ru](mailto:eliseeff.gosha2014@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6199-5687>

**Voitenok Oleg V.**, associate professor of the special training department of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: [vogps@igps.ru](mailto:vogps@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5501-6232>

Научная статья

УДК 614.844; 52-17; 66.011

## **МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПОДДЕРЖАНИЕМ ГОТОВНОСТИ СРЕДСТВ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАРКОВСКИХ ЦЕПЕЙ**

✉ **Танклевский Леонид Тимофеевич.**

**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Россия;**

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

**Таранцев Александр Алексеевич.**

**Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук,  
Санкт-Петербург, Россия;**

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

**Бабилов Игорь Александрович.**

**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,**

**Санкт-Петербург, Россия**

✉ [tanklevskiy@gefest-spb.ru](mailto:tanklevskiy@gefest-spb.ru)

*Аннотация.* Целью статьи является исследование вопросов моделирования поддержания готовности средств противопожарной защиты объектов, что обусловлено ограниченной надёжностью этих средств и необходимостью их оперативного восстановления ремонтными бригадами. Для достижения цели работы был использован адаптированный математический аппарат теории однородных цепей Маркова. С его помощью было исследовано два варианта задачи восстановления готовности средств противопожарной защиты – когда ремонтно-восстановительный пункт принимает отказавшие блоки систем противопожарной защиты, и когда восстановление средств противопожарной защиты осуществляет ремонтно-наладочная бригада. Моделирование проводилось численными методами на примере трёхкомпонентной цепи с учётом вероятностей переходов цепи из одного состояния в другое. Это позволило определять вероятности критических состояний, когда ремонтно-восстановительные службы не справлялись с потоком заявок на ремонты отказавших средств противопожарной защиты, и делать тем самым заключения об эффективности их работы. В результате проведённых исследований было впервые получено универсальное аналитическое выражение для вероятностей состояний исследуемой цепи, а также сделан важный вывод о том, что начальные вероятности состояний цепи не влияют на конечные вероятности её состояний. Кроме того, показана связь теории марковских процессов с теорией массового обслуживания. Сделан вывод о возможности получения аналитических выражений для многокомпонентных однородных цепей Маркова.

*Ключевые слова:* пожар, тушение, средства противопожарной защиты, марковские цепи, теория массового обслуживания

**Для цитирования:** Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Бабилов И.А. Метод управления поддержанием готовности средств противопожарной защиты с использованием Марковских цепей // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 60–69.

## A METHOD FOR MANAGING THE MAINTENANCE OF THE READINESS OF FIRE PROTECTION EQUIPMENT USING MARKOV CHAINS

✉ Tanklevsky Leonid T.

Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia;  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,  
Saint-Petersburg, Russia.

Tarantsev Alexander A.

Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences, Saint-Petersburg,  
Russia;

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

Babikov Igor' A.

Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia

✉ [tanklevskiy@gefest-spb.ru](mailto:tanklevskiy@gefest-spb.ru)

*Abstract.* The purpose of the article is to study the issues of modeling the maintenance of the readiness of fire protection facilities, which is due to the limited reliability of these facilities and the need for their prompt restoration by repair teams. To achieve the goal of the work, an adapted mathematical apparatus of the theory of homogeneous Markov chains was used. With its help, two options for the task of restoring the readiness of fire protection equipment were investigated – when the repair and restoration point accepts the failed units of fire protection systems and when the repair and adjustment team performs the restoration of fire protection equipment. Modeling was carried out by numerical methods using the example of a three-component circuit, taking into account the probabilities of the transitions of the circuit from one state to another. This made it possible to determine the probabilities of critical states when repair and restoration services could not cope with the flow of applications for repairs of failed fire protection equipment, and thereby make conclusions about the effectiveness of their work. As a result of the studies, a universal analytical expression was first obtained for the probabilities of the states of the studied circuit, and an important conclusion was made that the initial probabilities of the states of the circuit do not affect the final probabilities of the states. In addition, the connection of the theory of Markov processes with the theory of mass service is shown. It was concluded that analytical expressions can be obtained for multicomponent homogeneous Markov chains.

*Keywords:* fire, extinguishing, fire protection equipment, Markov chains, queuing theory

**For citation:** Tanklevsky L.T., Tarantsev A.A., Babikov I.A. Method of management of maintenance of readiness of fire protection means using Markov chains // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 4. P. 60–69.

### Введение

Эффективная противопожарная защита (ППЗ) объектов различных классов функциональной пожарной опасности [1] является важным условием устойчивого развития общества [2]. Для этого предусмотрены различные системы и средства ППЗ – пожарная сигнализация [3], автоматические установки пожаротушения (АУП) [4–7], системы дымоудаления [8], противопожарного водоснабжения [9, 10], оповещения и управления эвакуацией [11]. Одним из важных условий успешного срабатывания ППЗ является оперативность и избирательность реагирования на появление опасных факторов пожара, например, к водяным АУП. Разработаны методы уточнённого определения координат очага пожара [12] и принудительная активация спринклеров [13]. С учётом особенностей

защищаемых объектов и возможностей применения огнетушащих веществ предусматриваются и автоматические установки сдерживания пожара [14, 15].

Однако при всём многообразии систем и средств ППЗ они обладают общим недостатком – ограниченной надёжностью [16]. Это, в свою очередь, требует регулярного обслуживания и ремонта средств ППЗ для поддержания их готовности к применению. Поддержание готовности, представляющее собой получение сигналов о проблемах со средствами ППЗ и их устранение, может быть описано с использованием математического аппарата цепей Маркова А.А. [17, 18]. Это позволяет определять вероятности состояний процесса поддержания готовности и тем самым оценивать его эффективность, а также принимать необходимые решения по управлению этим процессом [19].

### Методы исследования

Применительно к задаче управления состоянием средств ППЗ сущность марковского подхода в следующем. Имеется конечный перечень из  $R$  состояний  $\{S\}$ , образующий полную группу, в которых может пребывать исследуемая система с соответствующими вероятностями  $\{P\}$  (очевидно:  $P_1+P_2+\dots+P_R=1$ ), известны вероятности переходов  $\{p_{ij}\}$  из состояния  $S_i$  в состояние  $S_j$  и исходные значения вероятностей  $\{P^0\}$ . Граф с вершинами  $\{S\}$  и ориентированными дугами  $\{p_{ij}\}$  представляет собой однородную марковскую цепь, которая может быть описана квадратной матрицей  $P$  размером  $R \times R$ :

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{1R} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{R1} & \dots & p_{RR} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Особенности матрицы  $P$  в том, что суммы вероятностей  $\{p\}$  по строкам равна 1, диагональные элементы  $p_{ii} = 1 - p_i^{\Sigma}, i \in [1, R]$  ( $p_i^{\Sigma}$  – сумма вероятностей в  $i$  строке за исключением диагонального элемента), а вероятности  $\{p\}$  в матрице  $P$  остаются неизменными (так как цепь однородна).

Запустив марковский процесс по алгоритму, приведённому в работах [17, 18], можно с использованием матрицы (1) пошагово определять величины вероятностей  $\{P^k\}$  состояний  $\{S\}$  средств ППЗ на каждом  $k$ -ом шаге и в итоге после стабилизации процесса найти конечные вероятности  $\{P^r\}$  состояний  $\{S\}$ .

Данный математический аппарат обладает следующими особенностями: требуется информация о количественных значениях вероятностей переходов  $\{p_{ij}\}$  (необходимо либо анализировать большие массивы статистических данных, либо использовать экспертные методы [20]); для определения динамики изменения вероятностей состояний  $\{P^k\}$  требуется использовать трудоёмкие численные методы пошаговой оценки.

Далее, будут рассмотрены примеры, когда получены аналитические выражения для оценки численных значений вероятностей  $\{P^r\}$  применительно к задачам восстановления готовности средств ППЗ с учётом, что марковская цепь может при  $R=3$  быть представлена графом, приведённым на рисунке.

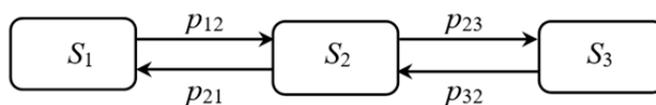


Рис. Марковская цепь для системы при  $R=3$

### Моделирование работы ремонтно-восстановительных служб

1. Ремонтно-восстановительный пункт принимает отказавшие блоки систем ППЗ, которые за заданный промежуток времени (например, рабочий день) могут поступать с вероятностью  $p_n$ , а восстанавливаться с вероятностью  $p_v$ . Регламент работы

предусматривает возможность ремонта одного блока системы ППЗ, а ещё один отказавший блок, если он поступит, может ожидать своей очереди на складе пункта.

Такой регламент работы предполагает нахождение ремонтно-восстановительного пункта в трёх ( $R=3$ ) состояниях:  $S_1$  – все блоки систем ППЗ отремонтированы, новых не поступало;  $S_2$  – поступил один отказавший блок, он ремонтируется;  $S_3$  – поступил ещё один отказавший блок, он ожидает на складе завершения ремонта ранее поступившего блока, а если поступит ещё один отказавший блок, он будет направлен в другой ремонтно-восстановительный пункт. Известны начальные вероятности состояний  $P_1^0 = 1$ ,  $P_2^0 = P_3^0 = 0$ , требуется найти вероятности  $P_1^r$ ,  $P_2^r$  и  $P_3^r$ , по которым сделать заключение об эффективности работы пункта. Вероятность  $P_3^r$  является критической, так как ввиду отказа в приёме к обслуживанию очередного отказавшего блока требуется принятие решений о его перенаправлении в другие ремонтно-восстановительные пункты, что чревато потерей оперативности восстановления систем ППЗ.

Применительно к графу на рисунке:  $p_{12}=p_{23}=p_{\text{п}}$ ,  $p_{21}=p_{32}=p_{\text{в}}$ , матрица (1) принимает вид:

$$P = \begin{bmatrix} 1 - p_{\text{п}} & p_{\text{п}} & 0 \\ p_{\text{в}} & 1 - p_{\text{п}} - p_{\text{в}} & p_{\text{п}} \\ 0 & p_{\text{в}} & 1 - p_{\text{в}} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Стандартный подход [17, 18] требует предварительного определения вероятностей  $p_{\text{п}}$  и  $p_{\text{в}}$ , после чего – проведения численных расчётов по [17] для нахождения вероятностей  $P_1^r$ ,  $P_2^r$  и  $P_3^r$ .

Тем не менее по результатам анализа динамики вероятностей  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  эвристическим путём стало возможным выявить закономерность, позволившую получить аналитические выражения:

$$\begin{bmatrix} P_1^r \\ P_2^r \\ P_3^r \end{bmatrix} = (K_1 + K_2 + K_3)^{-1} \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $K_1 = \frac{p_{\text{в}}^2}{p_{\text{п}}^2}$ ,  $K_2 = \frac{p_{\text{в}}}{p_{\text{п}}}$ ,  $K_3 = 1$ .

Выражение (3) ценно тем, что по нему можно проводить не только анализ эффективности работы ремонтно-восстановительного пункта (то есть по вероятностям  $p_{\text{п}}$  и  $p_{\text{в}}$  находить конечные вероятности состояний  $P_1^r$ ,  $P_2^r$  и  $P_3^r$ ), но и осуществлять синтез. В последнем случае по допустимой вероятности  $P_{\text{доп}}$  критического состояния  $S_3$  и заданной вероятности  $p_{\text{п}}$  найти необходимую вероятность  $p_{\text{в}}$ , чтобы выполнялось условие:  $P_3^r \leq P_{\text{доп}}$ . Из выражения (3) также следует, что конечные вероятности  $P_1^r$ ,  $P_2^r$  и  $P_3^r$  не зависят от исходных вероятностей  $P_1^0$ ,  $P_2^0$  и  $P_3^0$ .

Например, если  $p_{\text{п}}=0,1$  и  $p_{\text{в}}=0,7$ , то  $K_1=49$ ,  $K_2=7$ . Тогда из выражения (3) получаем:

$$P_1^r = \frac{49}{1+7+49} = 0,8596;$$

$$P_2^r = \frac{7}{1+7+49} = 0,1228;$$

$$P_3^r = \frac{1}{1+7+49} = 0,0175.$$

Проверить полученный результат можно стандартным методом [17] при условии, что матрица (2) при  $p_{\text{п}}=0,1$  и  $p_{\text{в}}=0,7$  принимает вид:

$$P = \begin{bmatrix} 0,9 & 0,1 & 0 \\ 0,7 & 0,2 & 0,1 \\ 0 & 0,7 & 0,3 \end{bmatrix}.$$

По результатам расчёта с применением численных методов пошагового нахождения вероятностей состояний  $\{P^k\}$  (динамика  $\{P^k\}$  приведена в табл. 1) найдены конечные вероятности:  $P_1^r = 0,8596$ ,  $P_2^r = 0,1228$ ,  $P_3^r = 0,0175$ . Как видим, результаты численных оценок конечных вероятностей состояний  $P_1^r, P_2^r$  и  $P_3^r$  полностью совпадают с аналитическими, полученными по выражению (3). Из табл. 1 также можно сделать важное заключение: исходные вероятности (шаг  $k=0$ )  $P_1^0, P_2^0$  и  $P_3^0$  не влияют на конечные вероятности  $P_1^r, P_2^r$  и  $P_3^r$ .

Ввиду того, что при данных условиях  $p_{\text{п}}=0,1$  и  $p_{\text{в}}=0,7$  вероятность возникновения критического состояния составит всего 1,75 %, работу ремонтно-восстановительного пункта можно признать удовлетворительной. А вероятность того, что все блоки ремонтируются своевременно, достаточно высока:  $P_1^r = 85,96$  %.

2. Ремонтно-восстановительная бригада обслуживает две системы ППЗ на объекте. Известно, что за анализируемый период времени каждая система может отказать с вероятностью  $p_{\text{п}}$ , но восстанавливается с вероятностью  $p_{\text{в}}$ .

Таблица 1. Динамика вероятностей состояний ремонтно-восстановительного пункта

| $k$ | $P_1^k$ | $P_2^k$ | $P_3^k$ | $P_1^k$ | $P_2^k$ | $P_3^k$ | $P_1^k$ | $P_2^k$ | $P_3^k$ |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0   | 1.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 1.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 1.0000  |
| 1   | 0.9000  | 0.1000  | 0.0000  | 0.7000  | 0.2000  | 0.1000  | 0.0000  | 0.7000  | 0.3000  |
| 2   | 0.8800  | 0.1100  | 0.0100  | 0.7700  | 0.1800  | 0.0500  | 0.4900  | 0.3500  | 0.1600  |
| 3   | 0.8690  | 0.1170  | 0.0140  | 0.8190  | 0.1480  | 0.0330  | 0.6860  | 0.2310  | 0.0830  |
| 4   | 0.8640  | 0.1201  | 0.0159  | 0.8407  | 0.1346  | 0.0247  | 0.7791  | 0.1729  | 0.0480  |
| 5   | 0.8617  | 0.1215  | 0.0168  | 0.8508  | 0.1283  | 0.0209  | 0.8222  | 0.1461  | 0.0317  |
| 6   | 0.8606  | 0.1222  | 0.0172  | 0.8556  | 0.1253  | 0.0191  | 0.8423  | 0.1336  | 0.0241  |
| 7   | 0.8601  | 0.1225  | 0.0174  | 0.8577  | 0.1240  | 0.0183  | 0.8516  | 0.1278  | 0.0206  |
| 8   | 0.8599  | 0.1227  | 0.0175  | 0.8588  | 0.1234  | 0.0179  | 0.8559  | 0.1251  | 0.0190  |
| 9   | 0.8597  | 0.1227  | 0.0175  | 0.8592  | 0.1231  | 0.0177  | 0.8579  | 0.1239  | 0.0182  |
| 10  | 0.8597  | 0.1228  | 0.0175  | 0.8595  | 0.1229  | 0.0176  | 0.8588  | 0.1233  | 0.0179  |
| 11  | 0.8597  | 0.1228  | 0.0175  | 0.8596  | 0.1229  | 0.0176  | 0.8593  | 0.1230  | 0.0177  |
| 12  | 0.8596  | 0.1228  | 0.0175  | 0.8596  | 0.1228  | 0.0176  | 0.8595  | 0.1229  | 0.0176  |
| 13  | 0.8596  | 0.1228  | 0.0175  | 0.8596  | 0.1228  | 0.0176  | 0.8596  | 0.1229  | 0.0176  |
| 14  | 0.8596  | 0.1228  | 0.0175  | 0.8596  | 0.1228  | 0.0175  | 0.8596  | 0.1228  | 0.0176  |
| 15  | 0.8596  | 0.1228  | 0.0175  | 0.8596  | 0.1228  | 0.0175  | 0.8596  | 0.1228  | 0.0176  |
| 16  | 0.8596  | 0.1228  | 0.0175  | 0.8596  | 0.1228  | 0.0175  | 0.8596  | 0.1228  | 0.0175  |

Такой регламент работы предполагает нахождение ремонтно-восстановительной бригады также в трёх ( $R=3$ ) состояниях:  $S_1$  – все системы ППЗ функционируют штатно;  $S_2$  – поступил сигнал об отказе одной системы, её работоспособность восстанавливается;  $S_3$  – поступил сигнал об отказе и другой системы ППЗ, её восстановление начнётся после завершения восстановления работоспособности ранее отказавшей системы. Известны начальные вероятности состояний  $P_1^0 = 1$ ,  $P_2^0 = P_3^0 = 0$ , требуется найти вероятности  $P_1^r, P_2^r$  и  $P_3^r$ , по численным значениям которых сделать заключение об эффективности работы бригады. Следует иметь в виду, что вероятность  $P_3^r$  является критической – объект временно лишён ППЗ.

Применительно к графу на рисунке:  $p_{12}=2p_{\text{п}}$ ,  $p_{23}=p_{\text{п}}$ ,  $p_{21}=p_{32}=p_{\text{в}}$ , матрица (1) принимает вид:

$$P = \begin{bmatrix} 1 - 2p_{\text{п}} & 2p_{\text{п}} & 0 \\ p_{\text{в}} & 1 - p_{\text{п}} - p_{\text{в}} & p_{\text{п}} \\ 0 & p_{\text{в}} & 1 - p_{\text{в}} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Для нахождения вероятностей  $P_1^r, P_2^r$  и  $P_3^r$  также могут использоваться аналитические выражения (3) с учётом, что  $K_1 = 0,5 \left(\frac{p_{\text{в}}}{p_{\text{п}}}\right)^2$ ,  $K_2 = \frac{p_{\text{в}}}{p_{\text{п}}}$ ,  $K_3 = 1$ .

Пусть, как и в предыдущем примере,  $p_{п}=0,1$  и  $p_{в}=0,7$ . Тогда  $K_1=24,5$ ,  $K_2=7$ . Из выражения (3) получаем:

$$P_1^r = \frac{24,5}{1+7+24,5} = 0,7538;$$

$$P_2^r = \frac{7}{1+7+24,5} = 0,2154;$$

$$P_3^r = \frac{1}{1+7+24,5} = 0,0308.$$

Проверить полученный результат можно, используя стандартный подход [17]. Матрица (4) при  $p_{п}=0,1$  и  $p_{в}=0,7$  примет вид:

$$P = \begin{bmatrix} 0,8 & 0,2 & 0 \\ 0,7 & 0,2 & 0,1 \\ 0 & 0,7 & 0,3 \end{bmatrix}.$$

Проведя расчёт с использованием численных методов пошагового нахождения вероятностей состояний  $\{P^k\}$  (динамика пошагового изменения вероятностей  $\{P^k\}$  приведена в табл. 2), получим конечные вероятности:  $P_1^r = 0,7538$ ,  $P_2^r = 0,2154$ ,  $P_3^r = 0,0308$ .

Таблица 2. Динамика вероятностей состояний ремонтно-восстановительной бригады

| $k$ | $P_1^k$ | $P_2^k$ | $P_3^k$ | $P_1^k$ | $P_2^k$ | $P_3^k$ | $P_1^k$ | $P_2^k$ | $P_3^k$ |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0   | 1.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 1.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 1.0000  |
| 1   | 0.8000  | 0.2000  | 0.0000  | 0.7000  | 0.2000  | 0.1000  | 0.0000  | 0.7000  | 0.3000  |
| 2   | 0.7800  | 0.2000  | 0.0200  | 0.7000  | 0.2500  | 0.0500  | 0.4900  | 0.3500  | 0.1600  |
| 3   | 0.7640  | 0.2100  | 0.0260  | 0.7350  | 0.2250  | 0.0400  | 0.6370  | 0.2800  | 0.0830  |
| 4   | 0.7582  | 0.2130  | 0.0288  | 0.7455  | 0.2200  | 0.0345  | 0.7056  | 0.2415  | 0.0529  |
| 5   | 0.7557  | 0.2144  | 0.0299  | 0.7504  | 0.2172  | 0.0323  | 0.7335  | 0.2264  | 0.0400  |
| 6   | 0.7546  | 0.2150  | 0.0304  | 0.7524  | 0.2162  | 0.0314  | 0.7453  | 0.2200  | 0.0347  |
| 7   | 0.7542  | 0.2152  | 0.0306  | 0.7532  | 0.2157  | 0.0310  | 0.7503  | 0.2173  | 0.0324  |
| 8   | 0.7540  | 0.2153  | 0.0307  | 0.7536  | 0.2155  | 0.0309  | 0.7524  | 0.2162  | 0.0315  |
| 9   | 0.7539  | 0.2154  | 0.0307  | 0.7537  | 0.2154  | 0.0308  | 0.7532  | 0.2157  | 0.0311  |
| 10  | 0.7539  | 0.2154  | 0.0308  | 0.7538  | 0.2154  | 0.0308  | 0.7536  | 0.2155  | 0.0309  |
| 11  | 0.7539  | 0.2154  | 0.0308  | 0.7538  | 0.2154  | 0.0308  | 0.7537  | 0.2154  | 0.0308  |
| 12  | 0.7538  | 0.2154  | 0.0308  | 0.7538  | 0.2154  | 0.0308  | 0.7538  | 0.2154  | 0.0308  |

Как и в предыдущем случае, результаты численных оценок конечных вероятностей состояний  $P_1^r$ ,  $P_2^r$  и  $P_3^r$  полностью совпадают с аналитическими, полученными по выражению (3) с учётом изменившихся выражений для  $K_1$  и  $K_2$ . Из табл. 2, как и ранее, следует, что исходные вероятности (шаг  $k=0$ )  $P_1^0$ ,  $P_2^0$  и  $P_3^0$  не влияют на конечные вероятности  $P_1^r$ ,  $P_2^r$  и  $P_3^r$ .

Виду того, что при данных условиях  $p_{п}=0,1$  и  $p_{в}=0,7$  вероятность возникновения критического состояния составит всего 3,08 %, работу ремонтно-восстановительной бригады можно признать удовлетворительной. А вероятность нормальной работы ППЗ объекта достаточно высока – более 75 %.

### Обсуждение результатов

1. Показана возможность применения однородных марковских цепей для описания процессов поддержания готовности технических средств, в частности систем противопожарной защиты объектов. Получены аналитические выражения для марковской цепи из трех состояний и установлено, что вероятности конечных состояний цепи не зависят

от исходных вероятностей. Кроме того, из полученных аналитических выражений следует, что в данном случае нет необходимости определять вероятности переходов, а важны лишь их соотношения  $p_{п}/p_{в}$ , что значительно облегчает моделирование.

2. Сложность применения математического аппарата марковских цепей в общем случае заключается в необходимости наличия количественных значений вероятностей переходов (матрица  $P$ ) и необходимости использования численных методов. В этой связи при выполнении условия [21]:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p_s(t + \Delta t) - p_s(t)}{\Delta t [p_{s-1}(t) - p_s(t)]} = \lambda = \text{const}$$

(индекс « $s$ » соответствует количеству поступающих заявок за время  $t$ ,  $\lambda$  – интенсивность переходов) возможно применение математического аппарата теории массового обслуживания [21, 22] для решения прикладных задач, в том числе связанных с обеспечением готовности технических средств систем ППЗ.

3. В дальнейшем целесообразно проводить исследования однородных марковских цепей с целью нахождения аналитических выражений для систем с большим числом  $R$  состояний.

### Заключение

Таким образом, показана принципиальная возможность оценки и поддержания готовности средств ППЗ с использованием математического аппарата марковских цепей. Для случая трёх состояний процесса получены аналитические выражения, согласующиеся с известным численным расчётом и позволяющие упростить оценку вероятностей. В дальнейшем представляется целесообразным провести исследования с целью получения аналитических выражений для большего числа состояний марковских цепей.

### 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. О пожарной безопасности: Федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 69-ФЗ (в ред. от 11 июня 2021 г.). Доступ из справ.-правового портала «Гарант».
3. СП484.1311500.2020 СППЗ. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 17.10.2022).
4. СП485.1311500.2020. СППЗ. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 11.11.2022).
5. Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Бабиков И.А. Особенности применения методики оценки возможности использования спринклерных АУП (Приложение В к СП 485.1311500.2020) // Пожарная безопасность. 2022. № 1 (106). С. 28–39. DOI: 10.37657/vniipro.pb.2022.16.79.002.
6. Об оценке эффективности спринклерной автоматической установки пожаротушения / Л.Т. Танклевский [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2021. № 1. Т. 30. С. 32–43. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.
7. Расчётная оценка геометрических параметров спринклерного водяного пожаротушения высотных стеллажей / Л.Т. Танклевский [и др.] // Пожарная безопасность. 2020. № 2 (99). С. 62–69.
8. СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 05.10.2022).

9. СП 8.13130.2020 СППЗ. Наружное противопожарное водоснабжение. Нормы и правила проектирования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 18.09.2022).
10. СП 10.13130.2020 СППЗ. Внутренний противопожарный водопровод. Нормы и правила проектирования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 17.10.2022).
11. СПЗ.13130.2020. СППЗ. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре в здании, сооружении. Требования пожарной безопасности // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 02.09.2022).
12. Об уточненной оценке координат очага пожара в помещении / О.А. Зыбина [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2020. № 3. Т. 29. С. 33–43. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.03.33-43.
13. Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Бабиков И.А. О способе определения группы принудительно активируемых оросителей при возникновении пожара в помещении // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 3 (51). С. 34–41.
14. Об особенностях применения автоматических установок сдерживания пожара / Л.Т. Танклевский [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2019. № 6. Т. 28. С. 71–79. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.71-79.
15. Зыбина О.А., Таранцев А.А., Танклевский А.Л. О проблеме разработки автоматических установок сдерживания пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 4 (52). С. 67–72.
16. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: стат. сборник / П.В. Полехин [и др.]; под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2021. 112 с.
17. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Сов. радио, 1972. 552 с.
18. Чжун Кай-Лай. Однородные цепи Маркова: пер. с англ. М.: Мир, 1964. 425 с.
19. Матвеев А.В. Методы моделирования и прогнозирования. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 230 с.
20. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: учеб.: в 3-х ч. Ч. 2: Экспертные оценки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 2011. 486 с.
21. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука, 1966. 431 с.
22. Таранцев А.А. Инженерные методы теории массового обслуживания. 2-е, изд. СПб.: Наука, 2007. 176 с.

## References

1. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ. Dostup iz sprav.-pravovogo portala «Garant».
2. O pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 21 dek. 1994 g. № 69-FZ (v red. ot 11 iyunya 2021 g.). Dostup iz sprav.-pravovogo portala «Garant».
3. SP484.1311500.2020 SPPZ. Sistemy pozharnoj signalizacii i avtomatizaciya sistem protivopozharnoj zashchity. Normy i pravila proektirovaniya // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoj dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 17.10.2022).
4. SP485.1311500.2020. SPPZ. Ustanovki pozharotusheniya avtomaticheskie. Normy i pravila proektirovaniya // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoj dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 11.11.2022).
5. Tanklevskij L.T., Tarancev A.A., Babikov I.A. Osobennosti primeneniya metodiki ocenki vozmozhnosti ispol'zovaniya sprinklernyh AUP (Prilozhenie V k SP 485.1311500.2020) // Pozharnaya bezopasnost'. 2022. № 1 (106). S. 28–39. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2022.16.79.002.

6. Ob ocenke effektivnosti sprinklernoj avtomaticheskoy ustanovki pozharotusheniya / L.T. Tanklevskij [i dr.] // Pozharovzryvobezопасnost'. 2021. № 1. T. 30. S. 32–43. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.
7. Raschyotnaya ocenka geometricheskikh parametrov sprinklernogo vodyanogo pozharotusheniya vysotnyh stellazhej / L.T. Tanklevskij [i dr.] // Pozharnaya bezопасnost'. 2020. № 2 (99). S. 62–69.
8. SP 7.13130.2013. Otoplenie, ventilyaciya i kondicionirovanie. Trebovaniya pozharnoj bezопасnosti // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 05.10.2022).
9. SP 8.13130.2020 SPPZ. Naruzhnoe protivopozharnoe vodosnabzhenie. Normy i pravila proektirovaniya // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 18.09.2022).
10. SP 10.13130.2020 SPPZ. Vnutrennij protivopozharnyj vodoprovod. Normy i pravila proektirovaniya // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 17.10.2022).
11. SP3.13130.2020. SPPZ. Sistema opoveshcheniya i upravleniya evakuaciej lyudej pri pozhare v zdanii, sooruzhenii. Trebovaniya pozharnoj bezопасnosti // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 02.09.2022).
12. Ob utochnennoj ocenke koordinat ochaga pozhara v pomeshchenii / O.A. Zybina [i dr.] // Pozharovzryvobezопасnost'. 2020. № 3. T. 29. S. 33–43. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.03.33-43.
13. Tanklevskij L.T., Tarancev A.A., Babikov I.A. O sposobe opredeleniya grupy prinuditel'no aktiviruemykh orositelej pri vozniknovenii pozhara v pomeshchenii // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2019. № 3 (51). S. 34–41.
14. Ob osobennostyah primeneniya avtomaticheskikh ustanovok sderzhivaniya pozhara / L.T. Tanklevskij [i dr.] // Pozharovzryvobezопасnost'. 2019. № 6. T. 28. S. 71–79. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.71-79.
15. Zybina O.A., Tarancev A.A., Tanklevskij A.L. O probleme razrabotki avtomaticheskikh ustanovok sderzhivaniya pozhara // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2019. № 4 (52). S. 67–72.
16. Pozhary i pozharnaya bezопасnost' v 2020 godu: stat. sbornik / P.V. Polekhin [i dr.]; pod obshch. red. D.M. Gordienko. M.: VNIPO, 2021. 112 s.
17. Ventcel' E.S. Issledovanie operacij. M.: Sov. radio, 1972. 552 s.
18. Chzhun Kaj-Laj. Odnorodnye cepi Markova: per. s angl. M.: Mir, 1964. 425 s.
19. Matveev A.V. Metody modelirovaniya i prognozirovaniya. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. 230 s.
20. Orlov A.I. Organizacionno-ekonomicheskoe modelirovanie: ucheb.: v 3-h ch. Ch. 2: Ekspertnye ocenki. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2009. 2011. 486 s.
21. Gnedenko B.V., Kovalenko I.N. Vvedenie v teoriyu massovogo obsluzhivaniya. M.: Nauka, 1966. 431 s.
22. Tarancev A.A. Inzhenernye metody teorii massovogo obsluzhivaniya. 2-e, izd. SPb.: Nauka, 2007. 176 s.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 09.11.2022; одобрена после рецензирования: 21.11.2022;  
принята к публикации: 25.11.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 09.11.2022; approved after review: 21.11.2022;  
accepted for publication: 25.11.2022

*Сведения об авторах:*

**Танклевский Леонид Тимофеевич**, заведующий кафедрой Высшей школы техносферной безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29); главный научный сотрудник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: [tanklevskiy@gefest-spb.ru](mailto:tanklevskiy@gefest-spb.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2769-0086>

**Таранцев Александр Алексеевич**, заведующий лабораторией проблем безопасности транспортных систем Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН (199178, Санкт-Петербург, 12-я Линия ВО, д. 13); профессор кафедры организации и пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: [t\\_\\_54@mail.ru](mailto:t__54@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1561-2483>

**Бабиков Игорь Александрович**, аспирант Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: [dogovor@gefest-spb.ru](mailto:dogovor@gefest-spb.ru)

*Information about the authors:*

**Tanklevsky Leonid T.**, head of the department of the higher school of technosphere safety of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politekhnikeskaya st., 29); chief researcher of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: [tanklevskiy@gefest-spb.ru](mailto:tanklevskiy@gefest-spb.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2769-0086>

**Tarantsev Alexander A.**, head of the laboratory of safety problems of transport systems of the N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences (199178, Saint-Petersburg, 12th line VO, 13); professor of the department of organization and fire extinguishing and emergency rescue operations 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: [t\\_\\_54@mail.ru](mailto:t__54@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1561-2483>

**Babikov Igor A.**, post-graduate student of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politekhnikeskaya st., 29), e-mail: [dogovor@gefest-spb.ru](mailto:dogovor@gefest-spb.ru)

Научная статья

УДК 69.009.1

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВАЖНОСТИ ФАКТОРОВ ПРИ ВЫБОРЕ ПОДРЯДЧИКОВ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТАХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ КАНО (НА ПРИМЕРЕ МУНИЦИПАЛИТЕТА г. МЕШХЕД)**

✉ Хосейн Мехди Заде.

Хаваранский университет Мешхеда, г. Мешхед, Провинция Разави Хорасан, Иран

✉ [hossein.m.zadeh@yahoo.com](mailto:hossein.m.zadeh@yahoo.com)

*Аннотация.* Правильный выбор подрядчиков для любого проекта является одним из наиболее важных элементов принятия решений, поскольку результаты этого выбора окажут значительное влияние на выполнение проекта с точки зрения качества, времени и стоимости. Цель данного исследования состоит в изучении факторов, влияющих на выбор подрядчика в проектах развития муниципалитета г. Мешхеда, на основе использования модели Кано. Статистическая группа исследования состоит из 232 человек, которые являются руководителями и исполнителями программ развития муниципалитета г. Мешхед. Размер выборки определялся с помощью таблицы Моргана и простой процедуры случайной выборки. Для сбора данных использовалась стандартная анкета, основанная на модели Кано. Среди факторов выбора подрядчиков в модели Кано рассматривались: базовое качество, качество исполнения и удовлетворенность. Статистический анализ проводился в программе SPSS, для проверки гипотез использовались одновыборочные t-тесты Стьюдента, тест отношений (Z-тест) и критерий Фридмана. Внутренняя согласованность характеристик опросника, определявшаяся с помощью коэффициента альфа Кронбаха, составила 0,926. Полученные данные свидетельствуют о том, что качество исполнения и удовлетворенность являются важными при выборе подрядчиков в проектах развития муниципалитета г. Мешхед на основе 95 % уверенности в базовом качестве. Согласно результатам исследования наиболее важным фактором, определяющим выбор подрядчиков в проектах развития муниципалитета г. Мешхед на основе модели Кано, является фактор «базового качества».

*Ключевые слова:* подрядчик, работодатель, строительный проект, модель Кано, основные качества

**Для цитирования:** Хосейн Мехди Заде. Определение важности факторов при выборе подрядчиков в строительных проектах на основе модели кано (на примере муниципалитета г. Мешхед) // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 70–80.

## **DETERMINING THE EFFECTIVE FACTORS IN THE SELECTION OF CONTRACTORS IN CONSTRUCTION PROJECTS BASED ON THE KANO MODEL (CASE STUDY MASHHAD MUNICIPALITY)**

✉ Hossein Mehdi Zadeh.

Khavaran university of Mashhad, Mashhad, Razavi Khorasan Province, Iran

✉ [hossein.m.zadeh@yahoo.com](mailto:hossein.m.zadeh@yahoo.com)

*Abstract.* The proper selection of contractors for any project is one of the most critical decision elements, as the outcomes of these selections will have a significant impact on the project's execution in terms of quality, time, and cost. This study aims to investigate the factors that influence contractor selection in Mashhad Municipality development projects using the Kano Model. The study's statistical population consists of 232 persons, who are all managers and executors of Mashhad Municipality development programs. The sample size was determined using

the Morgan table and a simple random sampling procedure. The number of samples was 142, according to the statistical population. A standard questionnaire based on Kano Model was used to collect data. The Kano Model's dimensions are as follows: (basic quality, performance quality and excitement quality). One-sample t-student tests, ratio test (Z test), and Friedman test were used to analyze the SPSS program and test the hypotheses. The content provided the validity of the measuring instrument (questionnaire), and the total reliability of the research tool was 0,926. The findings suggest that performance quality and excitement quality are successful in the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects, based on the degree of relevance and 95 % confidence in the basic quality. The status of basic qualities, performance quality and excitement quality is greater than the average level, according to the sample t-test. The most important element determining the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects based on the Kano Model, according to the research findings, «is the issue of basic quality».

*Keywords:* contractor, employer, construction project, Kano model, basic qualities

**For citation:** Hossein Mehdi Zadeh. Determining the effective factors in the selection of contractors in construction projects based on the kano model (case study Mashhad municipality) // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 4. P. 70–80.

## Introduction

Development projects are important indications of a country's progress and development. The project execution phase of a building project is where the most money is spent. The wrong selection of contractors in construction projects is one of the leading causes of financial resource loss and project failure. One of the most important considerations that managers and decision-makers must make is which contractor to choose. There is currently no effective process for selecting a contractor that is based on modern management concepts, and little attention is paid to relevant scientific methodologies and procedures. Undoubtedly, there are various quantitative and qualitative indications in establishing contractor qualifications, such as the capacity to perform work, appropriate economic strength, quality, and so on, all of which are crucial for employers [1]. Contractors are regarded as an important and integral component of the project execution process when external forces are used. The proper selection of contractors for any project is one of the most critical decision elements, as the outcomes of these selections will have a significant impact on the project's execution in terms of quality, time, and cost [2].

Every year, the Mashhad Municipality assigns a significant number of projects to contractors who, as a result of not picking the correct contractor, experience failure or challenges in project implementation, either directly or indirectly. The lowest bid price is currently one of the most prevalent strategies for selecting contractors. However, it is evident that several quantitative and qualitative indications, all of the variable values in evaluating a contractor's qualification and rating, must be examined in the decision-making process. Since contractors are one of the primary pillars of construction projects and the key factor in transforming resources into the end product, managing the contractor assessment and selection is an important component of the building process. Considering that executive operations consume the majority of a construction project's budget, each project's execution necessitates the hiring of a qualified contractor, one with the requisite competencies to complete the project on schedule, within budget, and to the desired quality [3]. We can mention the technique of evaluating the criteria, not prioritizing the criteria, employing fewer multi-criteria decision-making tools, and so on, as examples of previous study challenges. The Kano Model is used to evaluate and choose contractors in this study. The variables impacting contractor evaluation and selection may be grouped into three categories using the Kano Model: quality, Excitement Quality, and motivating requirements. The Kano Model has several advantages, including a better understanding and identification of criteria, determining the priority of criteria, and making it easier for the primary contractors to make decisions [4].

The parameters determining the selection of component contractors are first determined by evaluating previous studies. The Kano Model questionnaire is then created utilizing the stated criteria. The criteria are divided into three categories using the weighted mean frequency analysis method: basic quality, functional requirements, and motivating requirements of the Kano Model.

Fereshtian [1] used neural networks to study the primary components while recruiting component contractors in order to maintain quality and save project time. In research, Kateb [5] used the fuzzy Delphi approach to identify the dimensions, components, and criteria for assessing the competence and selection of contractors in municipal development projects in Tehran's third district, ranking and weighing them using the best-worst method. Karbakhsh Ravari et al. [6] took a calculated selection while selecting project managers. Russell and Skibniewski [7] conducted research in Hong Kong on how to choose a contractor for minor construction projects. Through a thorough empirical study done in the United Kingdom, Ang and Slaughter [8] investigated the divergence of arbitration (decision) criteria used by various consulting companies in pre-evaluating contractors. Considering the foregoing, and given that the management evaluation and selection of a contractor for construction project outsourcing is an important component of the construction process, construction projects are considered one of the most important projects in Mashhad Municipality because of their strategic importance and high costs of implementation. As much as improving the quality of such projects is strategically and socially important for the municipality, it is equally important to implement and operate them on time and with quality. As previously said, one of the most serious issues in building projects is the imposition of additional expenditures on project employers if proper contractor selection is neglected. The greatest challenge in building projects is the unpredictability of work being completed on time and on budget, which may be addressed by employing adequate management tools to pick the correct contractors. It is vital to perform more scientific research in this respect due to the necessity of selecting suitable contractors for Mashhad Municipality development projects. As a result of the absence of necessary research in this sector in Mashhad Municipality, such a study is required to properly evaluate and analyze all elements of the issue, as well as to explain the link between these key variables. In addition, to give acceptable solutions for Mashhad Municipality management based on the research findings so that they may review and plan to pick suitable contractors for building projects.

As a result, the current research provides an answer to the following major question:

What variables influence contractor selection in Mashhad Municipality development projects using the Kano Model?

## Method

The current research was descriptive-correlational. All 232 managers and operators of development projects in Mashhad Municipality were included in the study's statistical population. The sample was chosen using a basic random sampling procedure. The sample size was determined using the Morgan table. The number of samples is 142 managers and executives of Mashhad municipality development initiatives, according to the statistics population.

The standard Kano Model questionnaire, which comprises three dimensions (basic qualities, functional requirements, and motivational requirements), was utilized to gather data in the field component of the questionnaire. The following are the items 1 to 25 of the questionnaire linked to the factors influencing contractor selection in Mashhad Municipality development projects based on the Kano Model:

The dimension of basic qualities is connected to indicators (1 to 8) of the questionnaire of variables impacting the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects.

The dimension of performance quality is connected to indicators (9 to 17) of the questionnaire of variables impacting the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects.

The dimension of motivating needs is connected to indicators (18 to 25) of the questionnaire of variables impacting the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects.

The research instrument was authorized by reputable supervisors and consultants, as well as a number of professionals in the field of research, to ensure that the questionnaires were legitimate. Following the acquisition of the point of view, it was rectified before the final questionnaire was developed. The material has been used to determine the validity of the measuring tool (questionnaire).

The questionnaire's reliability was determined using Cronbach's alpha coefficient. In the program output, this result is 0,926, indicating the questionnaire's overall dependability.

In SPSS software, descriptive statistics such as dispersion indices and inferential statistics such as one-sample t-student, ratio test (Z test), and Friedman test were used to examine the data.

## Results

Since the hypotheses were tested using SPSS software, correlation coefficient and regression procedures were employed. This method's assumptions must be examined and authorized before it can be used. The assumptions are based on maximum likelihood and generalized least squares techniques, as well as the existence of distance variables and a normal distribution. As a result, it is important to confirm the normal distribution of the obtained data in order to utilize the program. The data was checked for normality using the Kolmogorov-Smirnov test. Table 1 shows the results of these tests, which were computed using SPSS software.

Table 1. The results of the Kolmogorov-Smirnov test to determine the normal distribution of the main variables

| Excitement quality | Performance quality | Basic quality |                    |                                |
|--------------------|---------------------|---------------|--------------------|--------------------------------|
| 142                | 142                 | 142           | Sample volume      |                                |
| 65 %               | 65,4 %              | 72,2 %        | Mean               | Normal distribution parameters |
| 0,517              | 0,352               | 0,580         | Standard deviation |                                |
| 0,136              | 0,175               | 0,123         | Test statistics    |                                |
| 0,73               | 0,078               | 0,065         | Significance level |                                |

The Kolmogorov-Smirnov test was performed with a 5 % error threshold. In this scenario, the data can be judged to be normal if the significance level in this test is more than 0,05. Otherwise, the data distribution cannot be described as normal. The assumption of normality of all study variables is validated by the above table and significance level values.

## Factors affecting the selection of Kano Model-based contractors

According to the Kano Model, the following factors influence contractor selection in Mashhad Municipality development projects (basic qualities, performance qualities and excitement qualities).

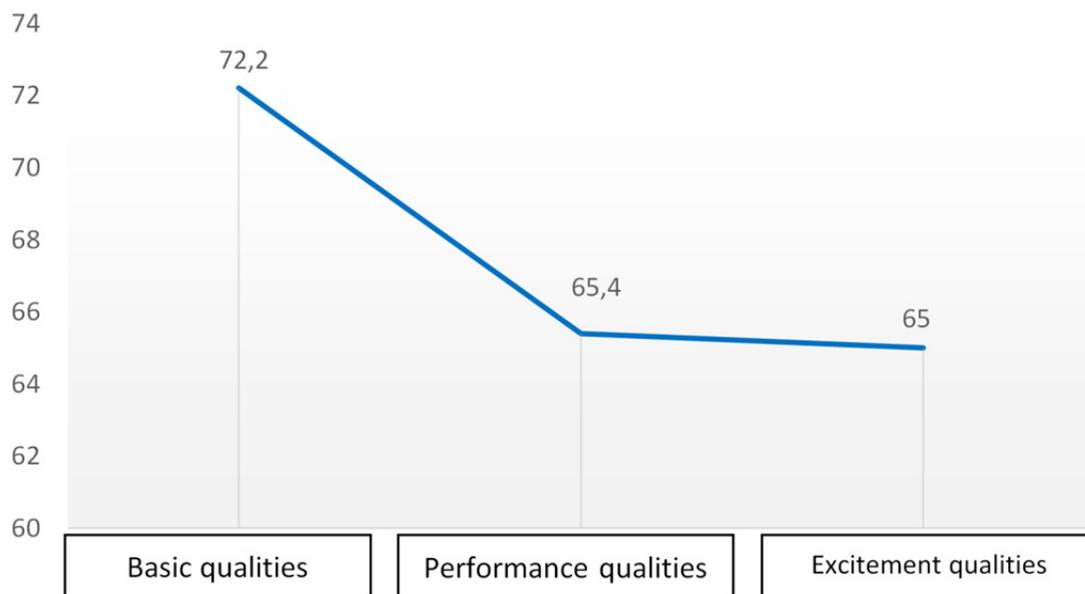


Fig. Comparing the mean factors affecting the Kano Model-based contractors selection from the view of respondents

According to the data in Figure, the basic quality factor has the greatest average, and the motivating factor has the lowest mean among the factors impacting the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects based on the Kano model. Considering the range used in the scores of this variable, the average score of scores can be considered as 50 % and thus, the average scores obtained for all factors affecting the selection of contractors in the development projects of Mashhad Municipality based on the Kano model is higher than average. As a result, the most significant criteria in selecting contractors for building projects in Mashhad Municipality should be the fundamental requirements (project safety, dependability, and durability).

### Ranking of factors affecting the Kano model-based contractors selection

From the perspective of respondents, the Friedman test was used to rank the factors influencing the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects based on the Kano model. The Friedman test is a prioritizing test that compares the mean ranks of  $k$  variables within a group (groups). The null hypothesis in this test is that the mean rankings of the groups are comparable or that the null hypothesis is rejected if there are at least two significant differences between the groups. Table 2 shows the results of the computations and the statistics for this test.

Table 2. The results of the Friedman test to compare the factors affecting the selection of contractors

| 44                  | Mean | Chi-square test | Degree of freedom | P-value |
|---------------------|------|-----------------|-------------------|---------|
| Basic quality       | 69   | 62,629          | 4                 | 0,000   |
| Performance quality | 62,4 |                 |                   |         |
| Excitement quality  | 66,2 |                 |                   |         |

Since the probability of the Friedman test is less than the significance level of the test, which is 0,05 ( $P\text{-value}=0,05$ ), ranking the factors affecting the selection of contractors in Mashhad Municipality construction projects based on the Kano Model considering the Friedman test is significant at the error level of 0,05, according to the results obtained from Table 2.

As a result, Table 3 shows the prioritizing of the three Kano model variables (fundamental qualities, performance qualities, and excitement qualities) based on the respondents' judgments in order of priority (according to the mean Friedman test scores) in the continuation of this section. The table's results show which factor is the most significant to the respondents. The basic qualities component is the most significant factor determining the selection of contractors in Mashhad Municipality building projects based on the Kano Model, according to the data obtained in the above table.

Table 3. Friedman test results to prioritize the factors affecting the selection of contractors from the view of respondents

| <i>Variable</i>       | <i>Rank mean</i> | <i>Priority</i> |
|-----------------------|------------------|-----------------|
| Basic qualities       | 69               | First           |
| Performance qualities | 62,4             | Third           |
| Excitement qualities  | 66,2             | Second          |

The excitement quality element comes in second after the essential quality component, while the performance quality factor is the least important. As a result, with a 95 % confidence interval, it can be claimed that «the element of basic qualities is the most significant component among the three variables determining the selection of contractors in the development projects of Mashhad Municipality based on the Kano model».

### Hypotheses testing

1. The selection of contractors in Mashhad Municipality development projects is influenced by basic qualities.

To assess which of the sources of human error is above average, the sample t-test is employed to answer the above hypothesis (50). Indeed, the following are the test's hypotheses:

The basic qualities affecting the selection of contractors are below average.

The basic qualities affecting the selection of contractors are above average.

$$\begin{cases} H_0 : \mu \leq 50 \\ H_1 : \mu > 50 \end{cases}$$

The statistics of this test is t-student which is as follows:

$$t_o = \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}},$$

where  $\bar{x}$  – the mean of the basic qualities influencing the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects;  $s$  – standard deviation of the obtained data or the degree of dispersion in the opinions of the respondents;  $n$  – sample size or number of respondents;  $\mu$  – the assumed value in the community means, which is equal to 50 points and is deemed the average of the data interval;  $t_o$  – the value of the test statistic, which follows the t-student distribution with the  $(n - 1)$  degree of freedom.

The findings are provided in the table below, based on the previous explanations and after estimating the appropriate parameters and computing the test statistics.

It is feasible to compare the test statistic with the value of the t-student distribution table or *P-value*, more conveniently, the probability test to assess the significance of the mean score of the respondents with a value of 50 so that if:

$$P\text{-value} < \alpha = 0.05, \quad t_o \geq t_{n-1, 1-\alpha} = t_{214, 0/95} = 1.98.$$

At the level of significance of the test, the zero-statistical hypothesis, or more precisely, the hypothesis of the low status of the basic quality influencing the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects, was rejected. It can be inferred that the status of the basic qualities influencing the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects is better than average.

The descriptive statistics for the variables, as well as the result of the t-student test to determine the significance of the influence of the subjects' mean scores, are presented in the table below.

Table 4. Student test to check the status of the basic qualities factor affecting the selection of contractors

| Factors affecting the contractors selection | Number | Mean | Standard deviation | Degree of freedom | t-statistics value | P-value |
|---|--------|------|--------------------|-------------------|--------------------|---------|
| Basic qualities                             | 142    | 72,2 | 0,580              | 140               | 35,21              | 0,000   |

Table 4 shows that the quantity of Student's t-statistic and P-value acquired about the status of the basic qualities determining the selection of contractors in Mashhad municipal development projects is above average, based on the views and opinions of the selected respondents since the calculated probability value, or P-value is less than the test's significance threshold ( $P\text{-value}=0,000 < 0,05$ ). As a result, it can be inferred, with a 95 % confidence level, that basic qualities impact the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects.

2. The selection of contractors in Mashhad Municipality development projects is influenced by performance quality.

To assess which of the sources of human error is above average, the sample t-test is employed to answer the above hypothesis (50). Indeed, the following are the test's hypotheses:

The factor of performance qualities affecting the selection of contractors is below average.

The factor of performance qualities affecting the selection of contractors is above average.

$$\begin{cases} H_0 : \mu \leq 50 \\ H_1 : \mu > 50 \end{cases} ;$$

$$t_o = \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

The findings are provided in the table below, based on the previous explanations and after estimating the appropriate parameters and computing the test statistics.

It is feasible to compare the test statistic with the value of the t-student distribution table or *P-value*, more conveniently, the probability test to assess the significance of the mean score of the respondents with a value of 50 so that if:

$$P\text{-value} < \alpha = 0.05, \quad t_o \geq t_{n-1, 1-\alpha} = t_{214, 0/95} = 1.98.$$

At the level of significance of the test, the zero-statistical hypothesis, or more precisely, the hypothesis of the low status of the performance qualities influencing the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects, was rejected. It can be inferred that the status of the performance qualities influencing the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects is better than average.

The descriptive statistics for the variables, as well as the result of the t-student test to determine the significance of the influence of the subjects' mean scores, are presented in the table below.

**Table 5. Student test to check the status of the performance qualities factor affecting the selection of contractors**

| Factors affecting the contractors selection | Number | Mean | Standard deviation | Degree of freedom | t-statistics value | P-value |
|---|--------|------|--------------------|-------------------|--------------------|---------|
| Performance qualities                       | 142    | 65,4 | 0,352              | 141               | 29,53              | 0,000   |

Table 5 shows that the quantity of Student's t-statistic and P-value acquired about the status of the performance qualities determining the selection of contractors in Mashhad municipal development projects is above average, based on the views and opinions of the selected respondents since the calculated probability value, or P-value is less than the test's significance threshold ( $P\text{-value}=0,000<0,05$ ). As a result, it can be inferred, with a 95 % confidence level, that the performance qualities impact the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects.

3. The selection of contractors in Mashhad Municipality development projects is influenced by excitement quality.

To assess which of the sources of human error is above average, the sample t-test is employed to answer the above hypothesis (50). Indeed, the following are the test's hypotheses:

The factor of excitement qualities affecting the selection of contractors is below average.

The factor of excitement qualities affecting the selection of contractors is above average.

$$\begin{cases} H_0 : \mu \leq 50 \\ H_1 : \mu > 50 \end{cases} ;$$

$$t_o = \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

The findings are provided in the table below, based on the previous explanations and after estimating the appropriate parameters and computing the test statistics.

It is feasible to compare the test statistic with the value of the t-student distribution table or *P-value*, more conveniently, the probability test to assess the significance of the mean score of the respondents with a value of 50 so that if:

$$P\text{-value} < \alpha = 0.05, \quad t_o \geq t_{n-1, 1-\alpha} = t_{214, 0.95} = 1.98.$$

At the level of significance of the test, the zero-statistical hypothesis, or more precisely, the hypothesis of the low status of the excitement qualities influencing the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects, was rejected. It can be inferred that the status of the excitement qualities influencing the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects is better than average.

The descriptive statistics for the variables, as well as the result of the t-student test to determine the significance of the influence of the subjects' mean scores, are presented in the table below.

**Table 6. Student test to check the status of the excitement qualities factor affecting the selection of contractors**

| Factors affecting the contractors selection | Number | Mean | Standard deviation | Degree of freedom | t-statistics value | P-value |
|---|--------|------|--------------------|-------------------|--------------------|---------|
| Excitement qualities                        | 142    | 65   | 0,517              | 139               | 30,75              | 0,000   |

Table 6 shows that the quantity of Student's t-statistic and P-value acquired about the status of the excitement qualities determining the selection of contractors in Mashhad municipal development projects is above average, based on the views and opinions of the selected respondents since the calculated probability value, or P-value is less than the test's significance threshold ( $P\text{-value}=0,000<0,05$ ). As a result, it can be inferred, with a 95 % confidence level, that the excitement qualities impact the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects.

### Discussion and conclusion

In the project implementation phase, as construction projects get larger and more complex, the need for more human, equipment, and financial resources becomes apparent. Contractors, as the project's executive arm, face these issues now more than ever. To address these issues, businesses should modify and enhance their assessment method for contractor selection under current conditions and replace it with newer and more relevant models. The majority of the research on the subject of contractor assessment and selection has been done by defining criteria and weighing them through experts and specialists rather than using a model that can categorize and rank these criteria. The Kano Model was used in this study to categorize and prioritize the parameters impacting the selection of contractors for Mashhad municipal construction projects. The Kano Model is utilized in the field of measuring consumer satisfaction with products.

Since the probability of the Friedman test is less than the significance level of the test, which is 0,05 ( $P\text{-value}=0,000<0,05$ ), it was used to rank the factors affecting the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects based on the Kano model from the perspective of respondents. As a result, ranking the factors influencing contractor selection in Mashhad Municipality building projects using the Kano model and Friedman test is significant at the 0,05 error level. As a result, the most important element influencing the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects based on the Kano model is the fundamental needs component. The excitement qualities component comes in second after the basic quality factor, while the performance quality factor is the least important. With a 95 % confidence interval, it can be claimed that: «The basic quality factor is the most significant component among the three factors determining the selection of contractors in Mashhad Municipality's development projects based on the Kano Model».

The findings revealed that the basic qualities have an impact on the selection of contractors for Mashhad Municipality development projects. The sample t-test was applied and examined to answer the aforementioned hypothesis. At the level of significance of the test, the statistical zero hypothesis, or more precisely, the hypothesis of the low status of the basic qualities determining the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects, was rejected. Consequently, the status of the basic qualities determining the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects is higher than average. Since the probability value or P-value obtained is less than the level of significance of the test, the status of the essential conditions determining the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects is greater than the average level ( $P\text{-value}=0,000<0,05$ ). As a result, the basic criteria influencing the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects may be concluded, with a 95 % confidence interval, from the respondents' point of view that the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects is influenced by basic qualities. The findings of this theory are consistent with those of Fereshtian [1] and Zaki et al. [9].

According to the findings of the study, performance qualities have an impact on the selection of contractors for Mashhad Municipality development projects. The sample t-test was applied and examined to answer the aforementioned hypothesis. The zero-statistical hypothesis, or more precisely, the hypothesis of the low status of performance qualities influencing contractor selection in Mashhad Municipality construction projects, was rejected at the level of significance of the test (i.e.  $\alpha=0,05$ ), and it can be concluded that the status of performance qualities influencing contractor selection in Mashhad Municipality development projects is higher than the average level.

Since the probability value or P-value obtained is less than the level of significance of the test, the status of the basic qualities impacting the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects is greater than the average level ( $P\text{-value}=0,000<0,05$ ). With a 95 % confidence interval on the respondents' perceptions of the state of the performance qualities influencing the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects, it can be inferred that: contractor selection in Mashhad Municipality development projects is influenced by performance qualities. The conclusions of this theory are comparable to those of Fereshtian [1] and Sadrabadi et al.'s investigation [10].

The hypothesis of the low status of excitement qualities affecting the selection of contractors in Mashhad Municipality construction projects has been rejected at the level of significance of the test (i.e.  $\alpha=0,05$ ), and it can be concluded that the status of the basic qualities affecting the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects is higher than the average level. Because the probability value or P-value obtained is less than the level of significance of the test, the status of the basic qualities impacting the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects is greater than the average level ( $P\text{-value}=0,000<0,05$ ). As a result, using a 95 % confidence interval and considering the respondents' perspectives on the state of the excitement qualities influencing the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects, it can be determined that the selection of contractors in Mashhad Municipality development projects is influenced by their excitement levels. The conclusions of this hypothesis' findings are comparable to those of Zaki et al.'s investigations [9]. According to the findings of the study, the municipality should pay greater attention to the discussion of the contractor's capacity to complete the project. In reality, research shows that the skill of the contractor is the most crucial factor to consider when hiring a contractor. Innovation, the utilization of new technology, optimal performance, and the contractor's expertise should all be taken into account in this scenario. The research's statistical population is confined to managers and executives working on Mashhad Municipality development initiatives, making it impossible to extrapolate the findings to other firms. Other multi-criteria decision-making approaches might be used in a future study to rank and pick the best contractor, with the findings compared to the Kano model assessment method.

## References

1. Fereshtian, Mohammad. Investigating the main components when recruiting component contractors to maintain quality and reduce project time using neural networks // Journal of Civil Engineering and Project. 2020. Consecutive 17.
2. Writer, Ali and Farahani Fard, Vahid. Identifying and ranking the most important factors in determining the selection of contractors using fuzzy technique: the first national conference on key topics in civil engineering, architecture and urban planning in Iran. 2016.
3. Rashidi Komijani, Alireza and Biatloo, Mostafa. Providing a model for ranking construction contractors in the municipality of Region 2 of Tehran // Quarterly Journal of Industrial Management. 2013. Consecutive 26.
4. Abbasi, Omid; Abbasian Jahromi, Hamidreza and Norouzian, Farhad. Identifying the criteria for selecting component contractors in construction contracting companies with a new approach using the Kano Model // Journal of Structural Engineering and Construction. 2016. Iss. 7.
5. Kateb, Ghazaleh. Designing a model for evaluating contractors in outsourcing municipal development projects (Case study: Tehran Region 3 Municipality) // Journal of Science and Engineering. 2020. Elite 5 (1).
6. Karbakhsh Ravari, Hossein; Seljukh, Sanjar and Sheikhi, Ayub. Presenting a practical model for selecting and prioritizing contractors in project-oriented companies (Case study: Mapna) // Quarterly Journal of Industrial Management. 2019. Consecutive 49.
7. Russel J.S., Skibniewski M.J. Decision criteria in contractor prequalification // Journal of management in engineering. 2018.

8. Ang S., Slaughter S. Work outcomes and job design for contract versus permanent IS professionals on software development teams. 2017. MIS Quarterly. № 25 (3).
9. Zaki Yashar, Ismailpour Hossein, Barati Alireza. Assessing Citizens' Satisfaction with Municipal Service Performance Using Kano Model (Case Study: Minoodasht City // Quarterly Journal of Urban Planning Geographical Research. 2016. № 4 (4).
10. Sadrabadi Mohammad, Shakarian Hamed, Sarafraz Ardakani Ali. Service design by identifying and prioritizing customer demands in the Kano model: a step towards expanding quality performance and increasing productivity // Comprehensive Management Quarterly. 2018. № 4 (1).

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 31.10.2022; одобрена после рецензирования: 22.11.2022; принята к публикации: 28.11.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 31.10.2022; approved after review: 22.11.2022; accepted for publication: 28.11.2022

*Сведения об авторах:*

**Хосейн Мехди Заде**, департамент инжинирингового управления в строительстве Хаваранского университета Мешхеда (Иран, Провинция Разави Хорасан, г. Мешхед, бульвар Фаллахи, д. 4), e-mail: hossein.m.zadeh@yahoo.com

*Information about the authors:*

**Hossein Mehdi Zadeh**, construction and execution management engineering department from Khavaran university of Mashhad (Iran, Razavi Khorasan Province, Mashhad, Fallahi Blvd, 4), e-mail: hossein.m.zadeh@yahoo.com

Научная статья

УДК 005.7

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОБЪЕКТАХ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

**Куватов Валерий Ильич;**

✉ **Заводсков Геннадий Николаевич;**

**Колеров Дмитрий Алексеевич.**

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

✉ ***ncuks73@mail.ru***

*Аннотация.* Аварии и чрезвычайные ситуации на водном транспорте возникают главным образом в силу негативного воздействия человеческих факторов и природных аномалий. Знание этих факторов создает условия для разработки превентивных мероприятий, позволяющих снизить аварийность.

Система управления безопасности судов предназначена для обеспечения безопасности на объектах водного транспорта, предотвращения несчастных случаев или гибели людей, а так же для минимизации причинения ущерба окружающей среде и имуществу.

В статье проведена оценка эффективности управления безопасностью на объектах водного транспорта на основе статистического анализа аварий и происшествий, связанных с гибелью и травматизмом людей на торговых, рыбопромысловых судах и на судах внутренних водных путей. Статистический анализ проводился на основе использования F-критерия Фишера и t-критерия Стьюдента.

Полученные результаты могут быть использованы в деятельности должностных лиц территориальных органов МЧС России по управлению безопасностью на водном транспорте, а именно при обосновании превентивных мероприятий, позволяющих снизить аварийность.

*Ключевые слова:* эффективность, управление безопасностью, водный транспорт, гибель, проверка гипотез, статистическая значимость, травматизм

**Для цитирования:** Куватов В.И., Заводсков Г.Н., Колеров Д.А. Оценка эффективности управления безопасностью на объектах водного транспорта // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 81–90.

## EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF SAFETY MANAGEMENT IN WATER TRANSPORT FACILITIES

**Kuvatov Valery I.;**

✉ **Zavodskov Gennady N.;**

**Kolero Dmitry A.**

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

✉ ***ncuks73@mail.ru***

*Abstract.* Accidents and emergencies in water transport arise mainly due to the negative impact of human factors and natural anomalies. Knowledge of these factors creates conditions for the development of preventive measures to reduce accidents.

The ship safety management system is designed to ensure safety at water transport facilities, prevent accidents or loss of life, as well as to minimize damage to the environment and property.

The article evaluates the effectiveness of safety management at water transport facilities based on a statistical analysis of accidents and incidents associated with the death and injury of people on merchant, fishing vessels and on inland waterway vessels. Statistical analysis was performed using Fisher's F-test and Student's t-test.

The results obtained can be used in the activities of officials of the territorial bodies of the EMERCOM of Russia in managing safety in water transport, namely, in substantiating preventive measures to reduce accidents.

*Keywords:* efficiency, safety management, water transport, death, hypothesis testing, statistical significance, injury rate

**For citation:** Kuvatov V.I., Zavodskov G.N., Kolerov D.A. Evaluation of the efficiency of safety management in water transport facilities // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 4. P. 81–90.

## Введение

Каждая третья авария, произошедшая на водном транспорте, влечет за собой гибель людей [1]. В силу того, что защита жизни и здоровья граждан является основным направлением государственной политики Российской Федерации, особую актуальность приобретает вопрос обеспечения безопасности на водном транспорте.

Аварии на водном транспорте в большинстве случаев происходят не вследствие природной стихии (штормов, сильного тумана и т.п.), а вследствие человеческого фактора (ошибки людей), который условно можно разделить на две группы: ошибки проектирования и строительства судов и ошибки при эксплуатации судов [2]. Последние, в свою очередь, составляют подавляющее большинство аварий, инцидентов и чрезвычайных ситуаций (ЧС) на воде (рис. 1).



Рис. 1. Статистика причин, повлекших аварии на морских судах в 2021 г. (ПБ – пожарной безопасности; ТБ – требований безопасности)

Неправильная эксплуатация судна может привести к столкновению, опрокидыванию, посадке на мель, удару о скалы и айсберги в воде, взрыву и пожару на борту.

Аварии могут быть вызваны перегрузкой судна людьми или грузом с нарушением правил перевозки опасных грузов. Некоторые корабли технически изношены и морально устарели в результате нахождения в эксплуатации в течение определенного периода времени.

Аварии судов, перевозящих опасные химические вещества, вызывают загрязнение окружающей среды, а пожары и взрывы нефтяных танкеров приводят к выливанию в океан большого количества нефти, что влечет экологические катастрофы (массовая гибель морских обитателей и водной растительности).

Частичное повреждение или полное уничтожение судна повлечет за собой серьезный материальный ущерб, связанный с повреждением или уничтожением груза во время аварии, и судно потребует ремонта.

При возникновении аварий и ЧС в порту к описанным последствиям добавляется разрушение портовых и городских зданий, сооружений и коммуникаций.

Следует отметить, что большая часть возникающих аварий и ЧС на водном транспорте происходит на море. Это связано с круглогодичной навигацией и большей численностью эксплуатируемых судов.

Общее количество аварий на море по видам за 2021 г. изображено на рис. 2 [3].



Рис. 2. Количество аварий за 2021 г. на море по видам

Показатели аварийности, гибели и травмирования людей на водном транспорте определяются эффективностью системы управления безопасностью судов, целью которой является:

- уменьшение риска влияния человеческого фактора на безопасную эксплуатацию судов;
- улучшение взаимосвязи между береговым персоналом и экипажем судна(ов);
- снижение количества транспортных происшествий, опасных и аварийных ситуаций, несчастных случаев;
- исключение загрязнения окружающей среды с судов [4].

Данная статья посвящена решению задачи оценки эффективности управления безопасностью на объектах водного транспорта на основе анализа ЧС и происшествий, связанных с гибелью и травматизмом людей на водном транспорте.

### Методы исследования

Эффективность управления безопасностью на объектах водного транспорта отражается количеством транспортных происшествий, опасных и аварийных ситуаций, несчастных случаев. Для решения поставленной задачи проводится статистический анализ аварий, связанных с гибелью и травматизмом людей на торговых судах, рыбопромысловых судах и на судах внутренних водных путей, используются методы проверки статистических гипотез. Если закон распределения генеральной совокупности неизвестен, но выборка из генеральной совокупности велика, то в соответствии с законом больших чисел генеральная совокупность имеет нормальное распределение [5–8]. В рассматриваемом случае объем выборок достаточно велик, поэтому принимается условие, что генеральная совокупность количества аварий, погибших, получивших тяжкий вред здоровью и т.д. распределена по нормальному закону. Однако математическое ожидание и дисперсия

генеральных совокупностей для этих видов аварий неизвестна. Для того чтобы установить правильность или ложность выводов, необходимо определить являются ли выборочные оценки математического ожидания и дисперсии статистически значимыми или нет [9–11].

Для проверки статистической значимости используется метод проверки статистических гипотез. В рассматриваемом варианте решения проверка гипотез состоит из двух шагов:

1. Проверка равенства дисперсий двух нормально распределенных генеральных совокупностей случайных величин.

2. Проверка равенства математических ожиданий двух нормально распределенных генеральных совокупностей случайных величин. Проверка равенства математических ожиданий осуществляется с помощью различных статистик в зависимости от того равны или нет дисперсии.

### Результаты исследования и их обсуждение

В приказе Минтранса Российской Федерации [12] определена классификация транспортных происшествий на водных судах. В статье не рассматривались все классы аварий по тяжести и типу судов, а были проанализированы только три класса аварий: типовые, с серьёзными последствиями, с гибелью и травматизмом людей на судах торгового мореплавания, рыбопромысловых судах и на судах внутренних водных путей. Статистические данные об аварийности судов за 2016–2021 гг. представлены в табл. 1, 2 [4].

Таблица 1. Статистика аварий на морских судах

| Тип судна  | Количество аварий в год |           |           |           |           |           | За 2016–2021 гг. |              |
|--|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|--------------|
|  | 2016                    | 2017      | 2018      | 2019      | 2020      | 2021      | Выб. знач.       | Выб. С.К.О.  |
| <b>Аварии</b>  |                         |           |           |           |           |           |                  |              |
| Судно торгового мореплавания                                 | 45                      | 44        | 64        | 39        | 27        | 31        | 41,67            | 13,05        |
| Рыбопромысловое судно  | 33                      | 32        | 35        | 20        | 25        | 36        | 30,17            | 6,1          |
| <b>Всего</b>   | <b>78</b>               | <b>76</b> | <b>99</b> | <b>59</b> | <b>52</b> | <b>67</b> | <b>71,83</b>     | <b>16,58</b> |
| <b>Крупные аварии</b>  |                         |           |           |           |           |           |                  |              |
| Судно торгового мореплавания                                 | 2                       | 5         | 3         | 7         | 3         | 2         | 3,67             | 1,97         |
| Рыбопромысловое судно  | 2                       | 3         | 1         | 1         | 5         | 1         | 2,17             | 1,60         |
| <b>Всего</b>   | <b>4</b>                | <b>8</b>  | <b>4</b>  | <b>8</b>  | <b>8</b>  | <b>3</b>  | <b>5,83</b>      | <b>2,40</b>  |
| <b>Аварии, связанные с гибелью и травматизмом</b>            |                         |           |           |           |           |           |                  |              |
| Судно торгового мореплавания                                 |                         |           | 4         | 11        | 3         | 4         | 5,5              | 3,70         |
| Рыбопромысловое судно  |                         |           | 19        | 10        | 14        | 16        | 14,75            | 3,77         |
| <b>Всего</b>   |                         |           | <b>23</b> | <b>31</b> | <b>17</b> | <b>20</b> | <b>22,75</b>     | <b>6,02</b>  |
| <b>Аварии, связанные с гибелью людей</b>                     |                         |           |           |           |           |           |                  |              |
| Судно торгового мореплавания                                 | 0                       | 2         | 6         | 16        | 5         | 3         | 5,5              | 5,65         |
| Пассажирское судно   | 9                       | 6         | 0         | 3         | 0         |           | 3,6              | 3,91         |
| Рыбопромысловое судно  | 13                      | 16        | 34        | 10        | 28        | 17        | 19,67            | 9,31         |
| <b>Всего</b>   | <b>22</b>               | <b>22</b> | <b>40</b> | <b>26</b> | <b>33</b> | <b>20</b> | <b>27,17</b>     | <b>7,81</b>  |
| <b>Аварии, связанные с получением тяжкого вреда здоровью</b> |                         |           |           |           |           |           |                  |              |
| Судно торгового мореплавания                                 | 3                       | 2         | 0         | 2         | 1         | 1         | 1,5              | 1,05         |
| Пассажирское судно   |                         |           | 0         | 0         | 0         | 1         | 0,25             | 0,5          |
| Рыбопромысловое судно  | 2                       | 4         | 4         | 0         | 2         | 1         | 2,17             | 1,60         |
| <b>Всего</b>   | <b>5</b>                | <b>6</b>  | <b>4</b>  | <b>2</b>  | <b>3</b>  | <b>2</b>  | <b>3,67</b>      | <b>1,63</b>  |

Таблица 2. Статистика аварий на внутренних водных путях

| Показатель                | Год  |      |      |      |      |      | За 2016–2021 гг. |             |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------------------|-------------|
|                           | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | Выб. Знач.       | Выб. С.К.О. |
| Количество аварий         | 6    | 5    | 1    | 7    | 1    | 0    | 3,33             | 3,01        |
| Количество инцидентов     | –    | –    | 115  | 125  | 111  | 119  | 118              | 2,65        |
| Количество погибших       | 2    | 2    | 1    | 3    | 2    | 0    | 1,67             | 1,03        |
| Количество травмированных | 3    | 0    | 0    | 2    | 0    | 0    | 0,83             | 1,33        |

В последних двух столбцах табл. 1, 2 приведены выборочное среднее и выборочное среднеквадратическое отклонение за анализируемый период. Анализ статистических данных позволяет сделать предварительные выводы:

1. Среднее количество аварий в море значительно превосходит количество аварий на внутренних водах.

2. Среднее количество аварий на судах торгового мореплавания больше, чем на рыбопромысловых судах.

3. Среднее количество погибших в результате аварий на море много больше количества погибших в результате аварий на внутренних водах.

4. Среднее количество погибших в результате аварий на судах торгового мореплавания меньше, чем количество погибших в результате аварий на внутренних водных путях.

5. Среднее количество людей, получивших тяжелые травмы при авариях в море, значительно превышает количество людей, получивших тяжелые травмы при авариях на внутренних водных путях.

6. Среднее количество людей, получивших тяжелые травмы при авариях на судах торгового мореплавания, значительно превышает количество людей, получивших тяжелые травмы при авариях на рыбопромысловых судах.

С целью оценки статистической значимости данных выводов была проведена их проверка с применением методов проверки статистических гипотез с использованием F-критерия Фишера и t-критерия Стьюдента.

*Предположение.* Среднее ежегодное количество аварий в море значительно превосходит количество аварий на внутренних водных путях.

Проверка гипотезы о равенстве дисперсий количества аварий на море и на внутренних водах, производилась путём расчёта отношения большей дисперсии к меньшей ( $F_{\text{набл}}$ ). По таблице Фишера-Снедекора определялось значение ( $F_{\text{крит}}$ ). В первом выводе, поскольку  $F_{\text{набл}} > F_{\text{крит}}$ , принимается альтернативная гипотеза, в соответствии с которой дисперсия количества аварий на море больше дисперсии количества аварий на внутренних водах (табл. 3).

Проверка гипотезы о равенстве математических ожиданий количества аварий в море и на внутренних водах производилась путём сравнения нулевой и альтернативной гипотезы. Проверка нулевой гипотезы производилась при уровне значимости  $\alpha=0,05$  по результатам двух независимых выборок. Расчёт значений критерия ( $T_{\text{набл}}$ ) производился по формуле Стьюдента:

$$T_{\text{набл}} = \frac{|X_{\text{ср1}} - X_{\text{ср2}}|}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n_1} + \frac{\sigma^2}{n_2}}}$$

По таблице Стьюдента определялось значение ( $T_{\text{крит}}$ ), и формулировался вывод. В рассматриваемом случае первый вывод является статистически значимым, и математическое ожидание количества аварий на море больше, чем на внутренних водах (табл. 4).

Оценка остальных предположений проводилась по описанному выше алгоритму. Результаты представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3. Результаты анализа с использованием метода сравнения дисперсий

| Наименование вывода  | Полученные значения критерия ( $F_{набл}$ ) | Критические значения ( $F_{крит}$ ) | Вывод   |
|--|---|-------------------------------------|---|
| 1  | 2   | 3                                   | 4   |
| Среднее ежегодное количество аварий в море значительно превосходит количество аварий на внутренних водных путях  | 30,34                                       | 5,05                                | Принимается альтернативная гипотеза. Дисперсия количества аварий на море больше дисперсии количества аварий на внутренних водах   |
| Среднее ежегодное количество аварий на судах торгового мореплавания больше, чем на рыбопромысловых судах   | 4,28  | 5,05                                | Нулевая гипотеза принимается. Дисперсия количества аварий с судами торгового мореплавания и с рыбопромысловыми судами равны   |
| Среднее ежегодное количество погибших в результате аварий в море намного больше, чем количество погибших в результате аварий на внутренних водных путях                                    | 57,49                                       | 5,05                                | Принимается альтернативная гипотеза. Дисперсия количества погибших в результате аварий на судах в море статистически значимо превышает дисперсию количества погибших в результате аварий на внутренних водных путях |
| Среднее ежегодное количество погибших в результате аварий на судах торгового мореплавания меньше, чем количество погибших в результате аварий на рыбопромысловых судах                     | 2,72  | 5,05                                | Принимается нулевая гипотеза. Дисперсия количества погибших в результате аварий на судах торгового мореплавания и на рыбопромысловых судах равны  |
| Среднее ежегодное количество людей, получивших тяжелые травмы при авариях в море, значительно превышает количество людей, получивших тяжелые травмы при авариях на внутренних водных путях | 1,5   | 5,05                                | Принимается нулевая гипотеза. Дисперсия количества травмированных в результате аварий на море и на внутренних водных путях равны  |
| Среднее ежегодное количество людей, получивших тяжелые травмы при авариях в море, значительно превышает количество людей, получивших тяжелые травмы при авариях на внутренних водных путях | 2,32  | 5,05                                | Принимается нулевая гипотеза. Дисперсия количества людей, получивших тяжелые травмы в результате аварий на судах торгового мореплавания и на рыбопромысловых судах равны  |

Таблица 4. Результаты анализа с использованием метода сравнения средних

| Наименование вывода   | Полученные значения критерия ( $T_{набл}$ ) | Критические значения ( $T_{крит}$ ) | Вывод   |
|---|---|-------------------------------------|---|
| 1   | 2   | 3                                   | 4   |
| Среднее ежегодное количество аварий в море значительно превосходит количество аварий на внутренних водных путях | 9,96  | 2,015                               | Принимается альтернативная гипотеза. Математическое ожидание количества аварий в море больше, чем на внутренних водах |

| 1  | 2     | 3     | 4   |
|--|-------|-------|---|
| Среднее ежегодное количество аварий на судах торгового мореплавания больше, чем на рыбопромысловых судах   | 1,94  | 1,812 | Принимается альтернативная гипотеза. Математическое ожидание количества аварий с судами торгового мореплавания значимо больше, чем с рыбопромысловыми судами  |
| Среднее ежегодное количество погибших в результате аварий в море намного больше, чем количество погибших в результате аварий на внутренних водных путях                                    | 7,93  | 2,015 | Принимается альтернативная гипотеза. Количество погибших в результате аварий в море больше, чем на внутренних водах   |
| Среднее ежегодное количество погибших в результате аварий на судах торгового мореплавания меньше, чем количество погибших в результате аварий на рыбопромысловых судах                     | 18,35 | 1,812 | Принимается альтернативная гипотеза. Математическое ожидание количества аварий на судах торгового мореплавания больше, чем на рыбопромысловых судах   |
| Среднее ежегодное количество людей, получивших тяжелые травмы при авариях в море, значительно превышает количество людей, получивших тяжелые травмы при авариях на внутренних водных путях | 18,35 | 1,812 | Принимается альтернативная гипотеза. Математическое ожидание количества травмированных в результате аварий в море статистически значимо больше ожидаемого значения количества травмированных в результате аварий на внутренних водных путях                                   |
| Среднее ежегодное количество людей, получивших тяжелые травмы при авариях в море, значительно превышает количество людей, получивших тяжелые травмы при авариях на внутренних водных путях | 8,56  | 1,812 | Принимается альтернативная гипотеза. Математическое ожидание количества людей, получивших тяжкий вред здоровью при авариях на рыбопромысловых судах, значимо больше чем количество людей, получивших тяжкий вред здоровью в результате аварий на судах торгового мореплавания |

Результаты проверки статистических гипотез обобщены и отображены в табличном виде (табл. 5).

Таблица 5. Результаты проверки статистических выводов по тяжести аварий

| С | Проверка равенства дисперсий | Проверка равенства математических ожиданий |
|---|------------------------------|--|
| 1 | $\sigma_1^2 > \sigma_2^2$    | $\mu_1 > \mu_2$                            |
| 2 | $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$    | $\mu_1 > \mu_2$                            |
| 3 | $\sigma_1^2 > \sigma_2^2$    | $\mu_1 > \mu_2$                            |
| 4 | $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$    | $\mu_1 > \mu_2$                            |
| 5 | $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$    | $\mu_1 > \mu_2$                            |
| 6 | $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$    | $\mu_1 > \mu_2$                            |

Из результатов анализа следует, что количество аварий с судами торгового мореплавания превышает количество аварий с рыбопромысловыми судами в 1,5 раза. В тоже время количество погибших в результате аварий на судах рыбопромыслового флота в 3,58 раза больше, чем на судах торгового мореплавания. Количество людей, получивших тяжкий вред здоровью в результате аварий на судах рыбопромыслового флота, в 1,45 раз больше, чем на судах торгового мореплавания. Причины такой ситуации описаны в работах [13, 14].

Отсюда возникает необходимость устранения, или, по крайней мере, минимизации этих причин в отношении судов рыбопромыслового флота.

Анализ табл. 1, 2 позволил определить весовые коэффициенты аварийности на судах торгового мореплавания, судах рыбопромыслового плавания и судах, ходящих по внутренним водным путям. Отношение среднего количества аварий на море к судам на внутренних водных путях равно  $77,67/3,33=23,32$ . Если суммарную аварийность принять за 100 %, то доля количества аварий на море составит  $77,67/(77,67+3,33)=0,96$ , а на внутренних водных путях – 0,04.

Отношение количества аварий на судах торгового мореплавания к судам рыболовного плавания равно  $45,33/32,33=1,4$ . Отсюда получим, что доля аварий на судах торгового мореплавания составляет  $45,33/(77,67+3,33)=0,56$ , доля аварий на судах рыбопромыслового флота  $32,33/(77,67+3,33)=0,40$ .

То есть при решении задач снижения аварийности основное внимание необходимо уделять судам торгового мореплавания и рыболовного мореплавания.

### Заключение

Проведенный в статье анализ эффективности управления безопасностью на объектах водного транспорта позволил сформулировать выводы об уровнях аварийности с судами различных классов и установить статистическую значимость одних выводов, а так же ложность других.

В результате применения методов проверки статистических гипотез и метода сравнения средних была произведена оценка статистической значимости полученных ранее выводов. Результаты свидетельствуют о том, что основной причиной возникновения аварий и ЧС на объектах водного транспорта являются ошибки лица, принимающего решения, в том или ином проявлении.

Снижению рисков возникновения вышеуказанных нарушений и ошибок будут способствовать следующие условия: организация эффективной систематической работы с плавсоставом (подготовка и обучение, тренировка и проверка знаний и навыков); финансирование и реализация мероприятий, направленных на поддержание технически исправного состояния оборудования и механизмов судов; систематическое подтверждение практических навыков действий плавсостава судов в ЧС; соблюдение на судах требований трудового законодательства; использование дополнительной диагностирующей аппаратуры состояния лиц, исполняющих служебные обязанности на судне; установление безусловной ответственности за нарушение требований трудовой и служебной дисциплины.

Полученные результаты могут быть использованы в деятельности должностных лиц территориальных органов МЧС России по управлению безопасностью на водном транспорте, а именно при обосновании превентивных мероприятий, позволяющих снизить аварийность.

### Список источников

1. Груздев М.Н. Классификация, статистика и основные причины морских происшествий. URL: <http://www.podlodka.info> (дата обращения: 10.10.2022).
2. Бондарев В.А., Ермаков С.В. Навигационная авария в контексте управления риском чрезвычайных ситуаций на море // Проблемы анализа риска. 2017. Т. 14. № 4. С. 58–65.
3. Анализ и состояние аварийности. URL: <http://www.rostransnadzor.gov.ru> (дата обращения: 15.10.2022).

4. ГОСТ Р 56023–2014. Система управления безопасностью судов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110866> (дата обращения: 21.11.2022).
5. Системный анализ и принятие решений / В.С. Артамонов [и др.]. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 352 с. EDN WHAXWB.
6. Ross S.M. Introduction to probability and statistics for engineers and scientists. USA: Academic press, 2020.
7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для студентов вузов. 12-е изд. М.: ООО «Изд-во ЮРАЙТ», 2009. 478 с. ISBN 978-5-9692-0391-4. EDN QJUHJN.
8. Siegel A.F. Practical business statistics. USA: Academic Press, 2016.
9. Матвеев А.В. Методы моделирования и прогнозирования. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 230 с. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.
10. Corral D., Healy A.F., Jones M. The effects of testing the relationships among relational concepts // Cognitive Research: Principles and Implications. 2022. Т. 7. № 1. С. 1–19.
11. Frost J. Hypothesis testing: An intuitive guide for making data driven decisions. Statistics by Jim Publishing, 2020.
12. Об утверждении Положения по расследованию, классификации и учету транспортных происшествий на внутренних водных путях Российской Федерации: приказ Минтранса Рос. Федерации от 29 дек. 2003 г. № 221. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902256548> (дата обращения: 21.11.2022).
13. Куватов В.И., Смирнов А.С., Шолин Н.А. Алгоритмическая модель обоснования требований к оперативной информации национального центра управления в кризисных ситуациях // Проблемы управления рисками в техносфере. 2008. № 4 (8). С. 157–162. EDN MCAEWJ.
14. Куватов В.И., Горбунов А.А., Колеров Д.А. Метод интеллектуальной поддержки управленческих решений с помощью ассоциативных связей при прогнозировании чрезвычайных ситуаций // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербург. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 116–124. EDN MANVIT.

## References

1. Gruzdev M.N. Klassifikaciya, statistika i osnovnye prichiny morskikh proisshestvij. URL: <http://www.podlodka.info> (data obrashcheniya: 10.10.2022).
2. Bondarev V.A., Ermakov S.V. Navigacionnaya avariya v kontekste upravleniya riskom chrezvychajnyh situacij na more // Problemy analiza riska. 2017. Т. 14. № 4. С. 58–65.
3. Analiz i sostoyanie avarijnosti. URL: <http://www.rostransnadzor.gov.ru> (data obrashcheniya: 15.10.2022).
4. GOST R 56023–2014. Sistema upravleniya bezopasnost'yu sudov. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110866> (data obrashcheniya: 21.11.2022).
5. Sistemnyj analiz i prinyatie reshenij / V.S. Artamonov [i dr.]. 2-e izd., pererab. i dop. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2017. 352 s. EDN WHAXWB.
6. Ross S.M. Introduction to probability and statistics for engineers and scientists. USA: Academic press, 2020.
7. Gmurman V.E. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika: uchebnoe posobie dlya studentov vuzov. 12-e izd. M.: ООО «Изд-во YURAJT», 2009. 478 s. ISBN 978-5-9692-0391-4. EDN QJUHJN.
8. Siegel A.F. Practical business statistics. USA: Academic Press, 2016.
9. Matveev A.V. Metody modelirovaniya i prognozirovaniya. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. 230 s. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.
10. Corral D., Healy A.F., Jones M. The effects of testing the relationships among relational concepts // Cognitive Research: Principles and Implications. 2022. Т. 7. № 1. С. 1–19.
11. Frost J. Hypothesis testing: An intuitive guide for making data driven decisions. Statistics by Jim Publishing, 2020.

12. Ob utverzhdenii Polozheniya po rassledovaniyu, klassifikacii i uchetu transportnyh proisshestvij na vnutrennih vodnyh putyakh Rossijskoj Federacii: prikaz Mintransa Ros. Federacii ot 29 dek. 2003 g. № 221. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902256548> (data obrashcheniya: 21.11.2022).

13. Kuvatov V.I., Smirnov A.S., Sholin N.A. Algoritmicheskaya model' obosnovaniya trebovanij k operativnoj informacii nacional'nogo centra upravleniya v krizisnyh situacijah // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2008. № 4 (8). S. 157–162. EDN MCAEWJ.

14. Kuvatov V.I., Gorbunov A.A., Kolerov D.A. Metod intellektual'noj podderzhki upravlencheskih reshenij s pomoshch'yu associativnyh svyazej pri prognozirovanii chrezvychajnyh situacij // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 2. S. 116–124. EDN MANVIT.

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 31.10.2022; одобрена после рецензирования: 24.11.2022; принята к публикации: 28.11.2022

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

The article was submitted to the editorial office: 31.10.2022; approved after review: 24.11.2022; accepted for publication: 28.11.2022

#### *Сведения об авторах:*

**Куватов Валерий Ильич**, 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)

**Заводсков Геннадий Николаевич**, старший преподаватель кафедры системного анализа и антикризисного управления Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [ncuks73@mail.ru](mailto:ncuks73@mail.ru)

**Колеров Дмитрий Алексеевич**, 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:*

**Kuvatov Valery I.**, 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)

**Zavodskov Gennady N.**, senior lecturer of the department of system analysis and crisis management of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: [ncuks73@mail.ru](mailto:ncuks73@mail.ru)

**Kolerov Dmitriy A.**, 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)

Научная статья

УДК 621.391

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЕМА В ДЕКАМЕТРОВЫХ ЛИНИЯХ РАДИОСВЯЗИ МЧС РОССИИ**

**Власенко Виктор Иванович;**

**Бибарсов Марат Рашидович.**

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

✉ **Дворников Сергей Викторович;**

**Дворников Сергей Сергеевич.**

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

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

✉ ***practicdsv@yandex.ru***

*Аннотация.* Представлены результаты по обоснованию повышения эффективности приема сигналов в декаметровых линиях связи за счет применения методов разнесенного приема. Рассмотрены известные подходы к организации разнесенного приема, проанализированы их достоинства и недостатки. Предложен критерий выбора взаимного расположения антенн в зависимости от угла места прихода радиоволны и азимутального смещения. Приведены результаты моделирования по обоснованию пространственного разнесения антенных систем. Сформулированы предложения по выбору антенных систем и их пространственного разнесения в интересах повышения эффективности приема сигналов в декаметровых линиях связи МЧС России.

*Ключевые слова:* разнесенный прием, пространственное разнесение антенн, поляризационное разнесение антенн, замирание сигнала, ионосферный канал

**Для цитирования:** Власенко В.И., Бибарсов М.Р., Дворников С.В., Дворников С.С. Повышение эффективности приема сигналов в декаметровых линиях радиосвязи МЧС // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 91–100.

## **INCREASING THE EFFICIENCY OF RECEPTION IN THE DECAMETERS RADIO COMMUNICATION LINES OF EMERCOM OF RUSSIA**

**Vlasenko Viktor I.;**

**Bibarsov Marat R.**

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

✉ **Dvornikov Sergei V.;**

**Dvornikov Sergei S.**

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

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

✉ ***practicdsv@yandex.ru***

*Abstract.* The results are presented on the rationale for increasing the efficiency of signal reception in decameter communication lines through the use of diversity reception methods. Known approaches to organizing diversity reception are considered, their advantages and disadvantages are analyzed. A criterion for choosing the relative position of antennas depending on the angle of the place of arrival of the radio wave and the azimuth shift is proposed. The results of modeling

to justify the spatial diversity of antenna systems are presented. Proposals are formulated for the choice of antenna systems and their spatial diversity in the interests of improving the efficiency of signal reception in decameter communication lines of EMERCOM of Russia.

*Keywords:* diversity reception, antenna space diversity, antenna polarization diversity, signal fading, ionospheric channel

**For citation:** Vlasenko V.I., Bibarsov M.R., Dvornikov S.V., Dvornikov S.S. Improving the efficiency of signal reception in decameter radio communication lines of EMERCOM of Russia // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 91–100.

## Введение

Сложная пожароопасная ситуация, возникающая в удаленных и труднодоступных районах страны, требует существенного отрыва сил и средств МЧС России для тушения пожаров и устранения их последствий. Так, согласно данным, предоставленными ФБУ «Авиалесоохрана», только в 2021 г. на территории Российской Федерации зафиксировано свыше 15 тыс. очагов возникновения природных пожаров, общая площадь которых составила свыше 10 млн га [1–3]. А учитывая, что география возникновения очагов возгорания весьма обширна, начиная от центральной России и заканчивая Чукотским регионом, то, следовательно, возникает серьезная проблема организации взаимодействия и управления отрядов пожарных и спасателей [4], задействованных для ликвидации стихийных бедствий.

Так, согласно работе [5] в настоящее время на территории Российской Федерации развернута достаточно мощная сеть радиосвязи МЧС России на базе передатчиков большой и средней мощности от 1 до 20 кВт типа ПКМ-5 и ПКМ-20, установленных в пунктах постоянной дислокации главных управлений МЧС России по субъектам Российской Федерации.

В мобильных отрядах для организации связи используют подвижные радиостанции средней мощности типа Р-161 А2М, Р-166, Р-140 КШМ, Р-142 НМ, установленных на автомобильной базе.

Вместе с тем, учитывая специфику решаемых задач подразделениями МЧС России и необходимость оперативного принятия решений при ликвидации последствий пожаров и стихийных бедствий [6], сложно рассчитывать возможность использования заранее подготовленного частотного плана, используемого при организации радиосетей и направлений взаимодействия и управления [7]. А учитывая тот факт, что «в подразделениях ФПС МЧС России нет штатных специалистов связи» [8], то вопросы обеспечения бесперебойной, надежной и устойчивой радиосвязи приобретают особо актуальный характер.

Следует отметить, что специалистами МЧС России в целом разработаны практические рекомендации по решению рассмотренных вопросов [9]. Однако сильная зависимость качества декаметровых каналов радиосвязи от времени суток и времени года, а также физико-географических условий определяет актуальность исследований, связанных с обеспечением устойчивого и оперативного управления отрядами спасателей, выполняющих свои задачи в удаленных районах с неразвитой инфраструктурой [10, 11].

С учетом указанных обстоятельств в настоящей статье представлены результаты исследований, направленных на повышение устойчивости работы линий декаметровой радиосвязи за счет обоснованного применения методов пространственного и поляризационного разносов.

## Анализ условий функционирования декаметровых радиолиний

При организации работы радиолиний декаметрового диапазона специалисты нередко сталкиваются с проблемами замирания сигналов на трассах [12]. Поэтому для борьбы с указанным негативным явлением активно используют различные способы разнесенного

приема [13]. Замирание свойственно для всех диапазонов частот [14], поскольку в большей степени определяется особенностями организации радиолиний [15, 16].

Однако их интенсивность наиболее существенна в декаметровом диапазоне при приеме ионосферных волн [17]. В общих случаях замирания в ионосферных каналах могут иметь глубину до 30 дБ и различной протяженности [18], период которых условно считают как быстрые и медленные.

В декаметровом диапазоне причиной быстрых замираний являются интерференция многолучевого сигнала и изменения поляризации этих сигналов [19, 20]. При этом быстрые изменения поляризации результирующего сигнала обусловлены интерференцией двух и более волн с эллиптическими поляризациями с разными направлениями вращения векторов электромагнитного поля (ЭМ-поля) [21].

Вместе с тем, несмотря на глубокую проработку способов борьбы с замираниями [22, 23], их техническая реализация для радиолиний декаметрового диапазона весьма затруднительна. И, как правило, связана с существенными затратами частотного, временного и аппаратного ресурсов. Из получивших широкое применение стоит выделить способы, базирующиеся на пространственный и поляризационный разносы приемных антенн [24].

В общем случае при реализации пространственного разноса, размещение приемных антенн необходимо выбрать таким образом, чтобы расстояние между ними обеспечивало условие минимальных замираний результатов корреляция сигналов в каждой из антенн.

Заметим, что, в свою очередь, минимальная корреляция замираний сигнала определяется величиной разности углов прихода радиоволн в каждую из антенн. На рис. 1 показан принцип приема двух радиоволн с различными пространственными характеристиками.

Анализ условий прихода радиоволн, представленного на рис. 1, показал выбор критерия, обеспечивающего оптимальное расположение приемных антенн, в первую очередь зависит от значений углов места прихода радиоволн  $\theta_1$  и  $\theta_2$ , и углов их азимутального смещения  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ .

Поскольку в точке приема радиоволн из-за их отражения от земной поверхности образуются так называемые стоячие ЭМ-волны, которые характеризуются пучностями и узлами напряженности поля сигнала, то оптимальность приема будет обеспечена в том случае, если антенны будут расположены в этих узлах.

В рамках таких рассуждений величина разноса между приемными антеннами  $d$  должна быть целочисленно кратна половине длины волны  $\lambda/2$ :

$$d = A(\lambda / 2), \quad (1)$$

где  $A \in \mathbb{N}$ .

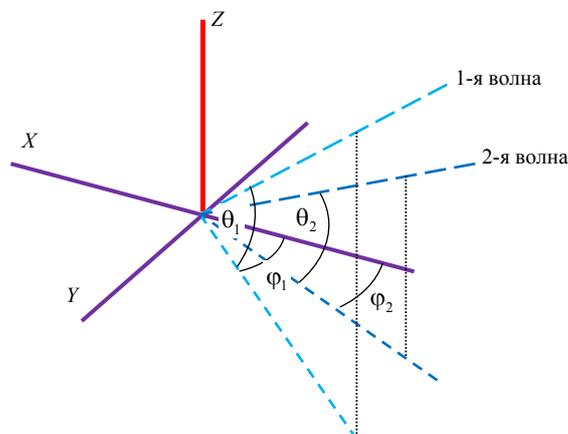


Рис. 1. Принцип приема пространственного приема радиоволн

Согласно условию (1) пространственный разнос существенно зависит от частоты работы радиолиний, поскольку изменение частотного плана приведет к нарушению требований выражения (1), и как результат – к увеличению коэффициента корреляции сигнала по замиранию. Поскольку его нулевое значение возможно только при строгом выполнении указанного условия.

В соответствии с результатами исследования [25] ионосфера представляет собой достаточно неоднородное образование. Причем в вертикальной плоскости ее неоднородность более вариативна, чем в горизонтальной. Следовательно, различия между значениями углов  $\theta_1$  и  $\theta_2$  будут намного более значительными, чем между  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ .

Учитывая указанные обстоятельства, на практике целесообразным видится реализация продольного, а не азимутального разноса антенн. Хотя понятно, что оптимальным является пространственный разнос с учетом как  $\theta$ , так и  $\varphi$ .

В частности, при двухлучевом характере распространения ЭМ-поля в декаметровых каналах оптимальный продольный разнос антенн будет удовлетворять следующему условию [26]:

$$D = \frac{\lambda}{2(\cos \theta_2 \cos \varphi_2 - \cos \theta_1 \cos \varphi_1)},$$

которое можно определить в качестве базового для расчета искомого пространственного разнесения между антеннами при приеме сигналов в декаметровом диапазоне.

### Предложения по организации пространственного разнесения между антеннами

С целью выработки рекомендаций по организации пространственного разноса было проведено моделирование, соответствующее декаметровым радиолиниям, работающим на частоте 5 МГц. Такие радиоданные типичны для радиолиний КВ-радиосвязи Сибирского федерального округа, о чем указано в работе [8]. Далее, для фиксированных значений азимутальных углов  $\varphi_1=15^\circ$  и  $\varphi_2=16^\circ$ , а также угла прихода первого луча  $\theta_1=30^\circ$  был построен график (рис. 2) как функция  $D(\Delta\theta_2)$ , где величина угла прихода  $\theta_2$  изменялась от  $30^\circ$  до  $60^\circ$ . Результаты представлены на рис. 2.

Анализ полученной зависимости  $D(\Delta\theta_2)$  позволяет заключить, что приемлемые разнесения (до 200 м) обеспечиваются при значениях различий в угле места между волнами не менее  $22,5^\circ$ . При уменьшении разности  $(\theta_1-\theta_2)$  до  $5^\circ$ , величина искомого разнесения составит 1 км, что достаточно сложно обеспечить на местности.

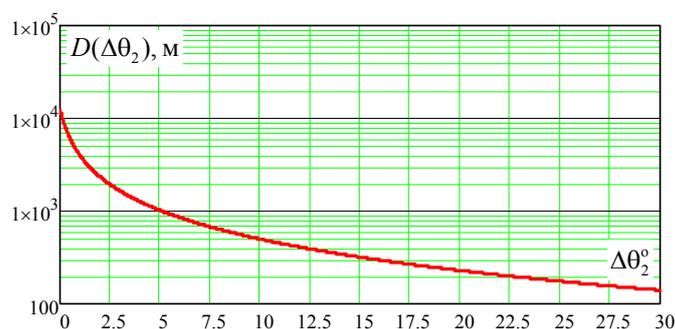


Рис. 2. Зависимость необходимого пространственного разноса между антеннами, в зависимости от угла места прихода второго луча

Вместе с тем малые различия разности  $(\theta_1-\theta_2)$  указывает на то, что декаметровая радиолиния относительно короткая. Получается, что для более протяженных трасс (свыше 450 км) проще обеспечить повышение качества приема, чем для коротких (до 450 км), за счет пространственного разнесения антенн. Учитывая, что для декаметровых радиолиний

необходимы достаточно большие по размерам площади для развертывания антенн [26], то рациональность применения пространственного разнеса не становится таким уж очевидным решением.

На относительно коротких радиолиниях, протяженностью до 450 км, прагматичным решением видится применение поляризационного разнесения.

Для поляризационного разнеса пригодны горизонтальные вибраторы (рис. 3) или наклонные симметричные вибраторы, развернутые по турникетной схеме.

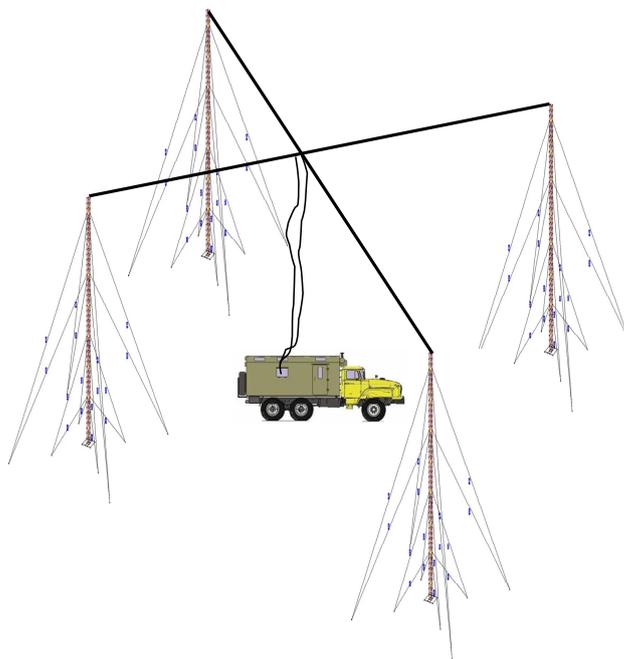


Рис. 3. Турникетная антенна, состоящая из двух горизонтальных вибраторов

Выбор для рассмотренной ситуации турникетных антенн обусловлен формируемыми посредством их применения диаграммами направленности (ДН) (рис. 4).

В частности, на рис. 4 представлены азимутальные ДН турникетной антенны зенитного приема, формируемые по двум составляющим ЭМ-поля. При моделировании полагалось, что высота мачт составляла 12 м ( типовые значения для радиостанций КВ-диапазона Р-140, Р-161-А2М), а длина плеч – 25 м.

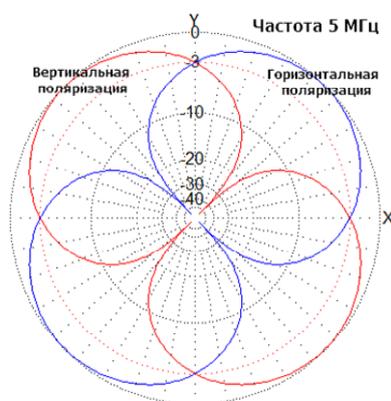


Рис. 4. Азимутальные ДН турникетной антенны

В турникетной антенной системе вибраторы подключаются к собирательной линии через резисторы, это снижает общий коэффициент полезного действия (КПД) и ограничивает

диапазон рабочих частот. Потенциально расширить диапазон рабочих частот и повысить КПД возможно за счет применения наклонных логопериодических антенн.

Следует отметить, что поляризационный разнос практически реализуется на трассах любой протяженности, при этом сокращаются площади антенных полей.

Таким образом, чем короче трасса, тем более выгодно применять поляризационный разнос антенн по сравнению с пространственным разнесом.

### Заключение

Представленные результаты проведенного исследования показали, что практика применения пространственного разноса ограничена только для однокачковых трасс линий радиосвязи декаметрового диапазона, протяженностью не менее 450 км. Поэтому более целесообразным видится применение поляризационного разноса, хотя и он достаточно сложен в реализации.

Поэтому необходим поиск других подходов к повышению эффективности приема, например, за счет более помехоустойчивых сигнальных конструкций [27], методов совместной, частотно-временной обработки сигналов [28] или широкополосных конструкций [29].

В качестве рекомендации авторы отмечают, что в радиостанциях средней мощности Р-166 штатно предусмотрена возможность реализации не только пространственного разнесения, но и частотного [30].

### Список источников

1. Мусиенко Т.В., Артамонов В.С. Управление пожарной безопасностью как частью национальной безопасности: история вопроса // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2022. № 2 (38). С. 5–16. DOI: <https://doi.org/10.37468/2307-1400-2022-2-5-16>.

2. Гольчевский В.Ф. Организация деятельности подразделений ОВД при чрезвычайной ситуации, вызванной лесными пожарами // Полицейская деятельность. 2022. № 5. С. 1–13.

3. Новая лесохозяйственная стратегия ЕС до 2030 г. сообщение европейской комиссии европейскому парламенту, совету, экономическому и социальному комитету, комитету по делам регионов. Брюссель, 16 июля 2021 г. СОМ (2021) 572 Заключительное // Экономика природопользования. 2022. № 1. С. 46–83.

4. Чернецов И.Н. Совершенствование системы организации управления взаимодействием экипажа и подразделений Государственной противопожарной службы при тушении пожаров на кораблях и судах: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: С.-Петербург. ун-т МВД России, 2002. 187 с.

5. Система радиосвязи в МЧС России / С.В. Пацук [и др.] // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2022. № 2 (12). С. 41–49.

6. Организация информационного обеспечения мобильных групп спасателей в арктической зоне Российской Федерации / И.Ф. Бажуков [и др.] // Динамика систем, механизмов и машин. 2018. Т. 6. № 4. С. 3–9.

7. Каменецкая Н.В. К вопросу о применении методов исследования операций для оптимизации поисково-спасательных работ // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика – регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в арктическом регионе: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2020. С. 165–167.

8. Каймонов О.С., Газизов Т.Т. Новый подход к обеспечению бесперебойной КВ-радиосвязи в системе МЧС России // Электронные средства и системы управления: материалы докладов Междунар. науч.-практ. конф. 2015. № 1-2. С. 30–34.

9. Воронин С.В., Скрипник И.Л. Применение средств радиосвязи КВ-диапазона в северных широтах при управлении силами и средствами МЧС // Проблемы обеспечения

безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2016. № 1-2 (5). С. 135–137.

10. 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.

11. Дворников С.В., Духовницкий О.Г. Оценка помехозащищенности профессионального радионавигационного оборудования системы ГЛОНАСС // Информация и космос. 2015. № 4. С. 73–77.

12. Петриева О.В. Помехоустойчивость при обобщенных релеевских замираниях сигналов и помех // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 1-1 (69). С. 223–227.

13. Батанов В.В., Назаров Л.Е. Статистические модели трансферных радиолоний с амплитудным замиранием сигналов // Электромагнитные волны и электронные системы. 2021. Т. 26. № 5. С. 15–22.

14. Дворников С.В. Упрощенное представление модели Ната для расчета затухания сигнала на открытых трассах // Информация и космос. 2017. № 3. С. 6–10.

15. Статистический анализ и методика оценки надежности радиоканалов по помехоустойчивости при наличии замираний сигнала / В.В. Зеленевский [и др.] // Известия Института инженерной физики. 2020. № 3 (57). С. 13–17.

16. Защита от структурных помех радиоканалов с частотной манипуляцией / С.В. Дворников [и др.] // Информационные технологии. 2017. Т. 23. № 3. С. 193–198.

17. Орехов Н.С. Пути повышения помехоустойчивости радиостанций декаметрового диапазона // Приоритетные направления развития инфокоммуникационных технологий, систем связи и оповещения РСЧС и ГО: сб. трудов XXX Междунар. науч.-практ. конф. 2020. С. 17–20.

18. Оптимизация сигнально-кодовых конструкций для связных радиоканалов с глубокими релеевскими замираниями / М.Ф. Шебакпольский [и др.] // Журнал радиоэлектроники. 2009. № 9. С. 7.

19. Елисеев С.Н., Филимонова Л.Н. Влияние быстрых релеевских замираний и частотного рассогласования частот субканалов приема и передачи на характеристики OFDM-сигналов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2022. Т. 25. № 2. С. 67–72.

20. Применение методов частотно-временной обработки акустических сигналов для анализа параметров реверберации / А.А. Алексеев [и др.] // Научное приборостроение. 2001. Т. 11. № 1. С. 65–76.

21. Аникин П.В., Жаворонков С.С., Яманов Д.Н. Спектральные характеристики поляризационно-манипулированных сигналов с непрерывным изменением параметров поляризации // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2014. № 209. С. 108–110.

22. Долуханов М.П. Способ борьбы с замиранием радиотелефонной передачи. Авторское свидетельство SU 56467 A1, 29.02.1940. Заявка № 921 от 7 апр. 1937 г.

23. Дворников С.В., Пшеничников А.В. Формирование спектрально-эффективных сигнальных конструкций в радиоканалах передачи данных контрольно-измерительных комплексов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2017. Т. 60. № 3. С. 221–228.

24. Белянский В.Б., Пустовойтов Е.Л., Манжелей И.В. Некоторые особенности пространственного, поляризационного и пространственно-поляризационного разнесения в системах радиосвязи // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2021. Т. 11. № 3. С. 74–81.

25. Браже Р.А. Восемь лекций по физике атмосферы и гидросферы: учеб. пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2003. 72 с.

26. Дворников С.В., Марков Е.В., Маноши Э.А. Повышение помехозащищенности передач декаметровых радиоканалов в условиях непреднамеренных помех // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 6. С. 4–9.

27. Теоретические положения повышения помехоустойчивости сигнально-кодовых конструкций квадратурных сигналов / С.В. Дворников [и др.] // Информация и космос. 2015. № 3. С. 13–16.

28. Дворников С.В. Демодуляция сигналов на основе обработки их модифицированных частотно-временных распределений // Цифровая обработка сигналов. 2009. № 2. С. 7–11.

29. Дворников С.В., Марков Е.В. Практика применения широкополосных сигналов с вариативной базой // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 86–95.

30. Зарубин М.М., Маслов А.В. Электронный тренажер Р-166. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2015662040, 16.11.2015. Заявка № 2015618833 от 25.09.2015.

### References

1. Musienko T.V., Artamonov V.S. Upravlenie pozharnoj bezopasnost'yu kak chast'yu nacional'noj bezopasnosti: istoriya voprosa // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2022. № 2 (38). S. 5–16. DOI: <https://doi.org/10.37468/2307-1400-2022-2-5-16>.

2. Gol'chevskij V.F. Organizaciya deyatelnosti podrazdelenij OVD pri chrezvychajnoj situacii, vyzvannoj lesnymi pozharami // Policejskaya deyatelnost'. 2022. № 5. S. 1–13.

3. Novaya lesohozyajstvennaya strategiya ES do 2030 g. soobshchenie evropejskoj komissii evropejskomu parlamentu, sovetu, ekonomicheskomu i social'nomu komitetu, komitetu po delam regionov. Bryussel', 16 iyulya 2021 g. COM (2021) 572 Zaklyuchitel'noe // Ekonomika prirodopol'zovaniya. 2022. № 1. S. 46–83.

4. Chernecov I.N. Sovershenstvovanie sistemy organizacii upravleniya vzaimodejstviem ekipazha i podrazdelenij Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby pri tushenii pozharov na korablyah i sudah: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb.: S.-Peterb. un-t MVD Rossii, 2002. 187 s.

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

6. Organizaciya informacionnogo obespecheniya mobil'nyh grupp spasatelej v arkticheskoj zone Rossijskoj Federacii / I.F. Bazhukov [i dr.] // Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin. 2018. Т. 6. № 4. S. 3–9.

7. Kameneckaya N.V. K voprosu o primenenii metodov issledovaniya operacij dlya optimizacii poiskovo-spatel'nyh rabot // Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy. Arktika – region strategicheskikh interesov: pravovaya politika i sovremennye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti v arkticheskom regione: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb., 2020. S. 165–167.

8. Kajmonov O.S., Gazizov T.T. Novyj podhod k obespecheniyu besperebojnoj KV-radiosvyazi v sisteme MCHS Rossii // Elektronnye sredstva i sistemy upravleniya: materialy dokladov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2015. № 1-2. S. 30–34.

9. Voronin S.V., Skripnik I.L. Primenenie sredstv radiosvyazi kv diapazona v severnyh shirotah pri upravlenii silami i sredstvami MCHS // Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij. 2016. № 1-2 (5). S. 135–137.

10. Dvornikov S.V., Vlasenko V.I., Bibarsov M.R. Antennaya sistema vozdušnogo retranslyatora dlya sistem podvishnoj svyazi // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ty GPS MCHS Rossii». 2022. № 3. S. 58–67.

11. Dvornikov S.V., Duhovnickij O.G. Ocenka pomexozashchishchennosti professional'nogo radionavigacionnogo oborudovaniya sistemy GLONASS // Informaciya i kosmos. 2015. № 4. S. 73–77.

12. Petrieva O.V. Pomekhoustojchivost' pri obobshchennyh releevskih zamiraniyah signalov i pomekh // Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire. 2021. № 1-1 (69). S. 223–227.
13. Batanov V.V., Nazarov L.E. Statisticheskie modeli transionosfernyh radiolinij s amplitudnym zamiraniem signalov // Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy. 2021. T. 26. № 5. S. 15–22.
14. Dvornikov S.V. Uproshchennoe predstavlenie modeli Hata dlya rascheta zatuhaniya signala na otkrytyh trassah // Informaciya i kosmos. 2017. № 3. S. 6–10.
15. Statisticheskij analiz i metodika ocenki nadezhnosti radiokanalov po pomekhoustojchivosti pri nalichii zamiraniy signala / V.V. Zelenevskij [i dr.] // Izvestiya Instituta inzhenernoj fiziki. 2020. № 3 (57). S. 13–17.
16. Zashchita ot strukturnyh pomekh radiokanalov s chastotnoj manipulyaciej / S.V. Dvornikov [i dr.] // Informacionnye tekhnologii. 2017. T. 23. № 3. S. 193–198.
17. Orekhov N.S. Puti povysheniya pomekhoustojchivosti radiostancij dekametrovogo diapazona // Prioritetnye napravleniya razvitiya infokommunikacionnyh tekhnologij, sistem svyazi i opoveshcheniya RSCHS i GO: sb. trudov HKHKH Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2020. S. 17–20.
18. Optimizaciya signal'no-kodovyh konstrukcij dlya svyaznyh radiokanalov s glubokimi releevskimi zamiraniyami / M.F. Shebakpol'skij [i dr.] // Zhurnal radioelektroniki. 2009. № 9. S. 7.
19. Eliseev S.N., Filimonova L.N. Vliyanie bystryh releevskih zamiraniy i chastotnogo rassoglasovaniya chastot subkanalov priema i peredachi na harakteristiki OFDM-signalov // Fizika volnovykh processov i radiotekhnicheskie sistemy. 2022. T. 25. № 2. S. 67–72.
20. Primenenie metodov chastotno-vremennoj obrabotki akusticheskikh signalov dlya analiza parametrov reverberacii / A.A. Alekseev [i dr.] // Nauchnoe priborostroenie. 2001. T. 11. № 1. S. 65–76.
21. Anikin P.V., Zhavoronkov S.S., Yamanov D.N. Spektral'nye harakteristiki polarizacionno-manipulirovannyh signalov s nepreryvnym izmeneniem parametrov polarizacii // Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviacii. 2014. № 209. S. 108–110.
22. Doluhanov M.P. Sposob bor'by s zamiraniem radiotelefonnoj peredachi. Avtorskoe svidetel'stvo SU 56467 A1, 29.02.1940. Zayavka № 921 ot 7 apr. 1937 g.
23. Dvornikov S.V., Pshenichnikov A.V. Formirovanie spektral'no-effektivnyh signal'nyh konstrukcij v radiokanalakh peredachi dannyh kontrol'no-izmeritel'nyh kompleksov // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie. 2017. T. 60. № 3. S. 221–228.
24. Belyanskij V.B., Pustovojtov E.L., Manzhelej I.V. Nekotorye osobennosti prostranstvennogo, polarizacionnogo i prostranstvenno-polarizacionnogo razneseniya v sistemah radiosvyazi // REDS: Telekommunikacionnye ustrojstva i sistemy. 2021. T. 11. № 3. S. 74–81.
25. Brazhe R.A. Vosem' lekcij po fizike atmosfery i gidrosfery: ucheb. posobie. Ul'yanovsk: UIGTU, 2003. 72 s.
26. Dvornikov S.V., Markov E.V., Manoshi E.A. Povyshenie pomekhozashchishchennosti peredach dekametrovyh radiokanalov v usloviyah neprednamerennyh pomekh // T-Comm: Telekommunikacii i transport. 2021. T. 15. № 6. S. 4–9.
27. Teoreticheskie polozheniya povysheniya pomekhoustojchivosti signal'no-kodovyh konstrukcij kvadratnyh signalov / S.V. Dvornikov [i dr.] // Informaciya i kosmos. 2015. № 3. S. 13–16.
28. Dvornikov S.V. Demodulyaciya signalov na osnove obrabotki ih modificirovannyh chastotno-vremennyh raspredelenij // Cifrovaya obrabotka signalov. 2009. № 2. S. 7–11.
29. Dvornikov S.V., Markov E.V. Praktika primeneniya shirokopolosnyh signalov s variativnoj bazoj // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 2. S. 86–95.
30. Zarubin M.M., Maslov A.V. Elektronnyj trenazher R-166. Svidetel'stvo o registracii programmy dlya EVM RU 2015662040, 16.11.2015. Zayavka № 2015618833 ot 25.09.2015.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 30.10.2022; одобрена после рецензирования: 30.11.2022; принята к публикации: 02.12.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 30.10.2022; approved after review: 30.11.2022; accepted for publication: 02.12.2022

*Информация об авторах:*

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

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

**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, доктор технических наук, профессор, e-mail: [practicdsv@yandex.ru](mailto:practicdsv@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>

**Дворников Сергей Сергеевич**, старший преподаватель кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств (Кафедра 23) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67); научный сотрудник научно-исследовательского отдела Военной академии связи им. С.М. Буденного, кандидат технических наук, e-mail: [dvornik92@mail.com](mailto:dvornik92@mail.com)

*Information about authors:*

**Vlasenko Victor I.**, senior lecturer of the department 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: [viktor\\_vlasenko@yandex.ru](mailto:viktor_vlasenko@yandex.ru)

**Bibarsov Marat R.**, senior lecturer 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: [bibarsovmr@rambler.ru](mailto:bibarsovmr@rambler.ru)

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

**Dvornikov Sergey S.**, senior lecturer of the department of design and technology of electronic and laser devices (department 23) Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 67); researcher of the research department of the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, candidate of technical sciences, e-mail: [dvornik92@mail.com](mailto:dvornik92@mail.com)

---

---

# ЭКОНОМИКА, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

---

---

Обзорная статья

УДК 332.142

## **К ВОПРОСУ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧИТЕЛЬНЫХ МЕР: ПРАВО, ЭКОНОМИКА И НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

✉ Белхароев Хаджимурад Уматгиреевич;

Ситкова Карина Евгеньевна.

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

✉ [x101010x@yandex.ru](mailto:x101010x@yandex.ru)

*Аннотация.* Исследуются проблемные вопросы устойчивого развития регионов нашей страны в условиях ограничительных мер и глобализации.

Раскрыто, что доминирование развитых стран становится основной причиной неустойчивости и неопределенности в развитии экономически слабых государств. Показано, что происходящие процессы взаимного противостояния сверхдержав, идеи, заложенные в понятии об устойчивом развитии, должны сыграть консолидирующую роль российского общества при выработке национальных приоритетов, определении перспектив и необходимых преобразований в социально-экономическом плане.

Рассмотрены проблемы обеспечения национальной безопасности в условиях глобализации и ограничительных мер.

Выявлено, что для нашей страны устойчивое развитие, прежде всего, требует разработки современной системной концепции, которая позволит просчитать и выявить все возможности и условия нового вектора развития государства – сформировать структуру, определить средства и варианты оптимизации управления государственными процессами на федеральном, региональном и муниципальном уровнях на долгосрочную перспективу.

Рекомендуется в целях успешной реализации политики устойчивого развития своевременно формировать и реализовывать меры государственной поддержки по обеспечению инновационного климата и условий государственно-частного партнерства в регионах.

*Ключевые слова:* устойчивое развитие, глобализация, системы, национальная безопасность, угрозы

**Для цитирования:** Белхароев Х.У., Ситкова К.Е. К вопросу устойчивого развития регионов России в условиях ограничительных мер: право, экономика и национальная безопасность // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 101–108.

## ON THE ISSUE OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF RUSSIAN REGIONS UNDER RESTRICTIVE MEASURES: LAW, ECONOMY AND NATIONAL SECURITY

✉ Belkharoev Khadzhimurad U.;

Sitkova Karina E.

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

✉ x101010x@yandex.ru

*Abstract.* The article examines the problematic issues of sustainable development of the regions of our country in the conditions of restrictive measures and globalization.

It is revealed that the dominance of developed countries becomes the main cause of instability and uncertainty in the development of economically weak states. It is shown that the ongoing processes of mutual confrontation of superpowers, the ideas embedded in the concept of sustainable development should play a consolidating role in the development of national priorities, determining prospects and necessary transformations in socio-economic terms.

The problems of ensuring national security in the context of globalization and restrictive measures are considered.

It is revealed that for our country, sustainable development, first of all, requires the development of a modern system concept that will allow us to calculate and identify all the possibilities and conditions of a new vector of state development – to form a structure, identify means and options for optimizing the management of state processes at the federal, regional and municipal levels, for the long term.

It is recommended that in order to successfully implement the sustainable development policy, timely form and implement measures of state support to ensure an innovative climate and conditions of public-private partnership in the regions.

*Keywords:* sustainable development, globalization, systems, national security, threats

**For citation:** Belkharoev K.U., Sitkova K.E. On the issue of sustainable development of Russian regions under restrictive measures: law, economy and national security // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 4. P. 101–108.

### Введение

Общественно-историческому процессу на современном этапе мирового развития характерны вопросы продвижения странами золотого миллиарда политики глобализации, которые имеют позитивные и негативные стороны. Глобализация способствует повышению темпов внутреннего экономического роста развитых стран, обеспечивая ежегодно возрастающие потребности населения стран золотого миллиарда.

Доминирование на мировом товарном рынке определенных стран влечет неустойчивость и неопределенность в развитии экономически слабых развивающихся государств, которые проявляются дестабилизирующими факторами устойчивого развития государства, особенно социально-экономическим и политическим направлением. Усиление влияния транснациональных компаний придает особую остроту проблеме перехода современной модели устойчивого развития регионов к новым моделям и системам развития.

### Аналитическая часть

Необходимо отметить, что теория устойчивости возникла давно, имеет объяснение в движении, равновесии, формах и системах, ее основы изучены математиками, философами, физиками. Разными научными направлениями обоснованы и исследованы различные теоретические и методологические подходы к общему понятию «устойчивость».

Основа устойчивости непременно заложена внутри системы, основным условием наличия устойчивости к различного рода воздействиям являются непосредственно

внутренние свойства самой системы. Особое место среди систем занимают «социально-экономические», то есть материальные, их устойчивость взаимосвязана и взаимозависима с общественными отношениями, которые возникают в процессе потребления и производства.

В настоящее время, когда в мире происходят процессы взаимного противостояния сверхдержав, идеи, заложенные в понятии об устойчивом развитии, должны сыграть консолидирующую роль российского общества, способствовать выработке национальных приоритетов, определению перспектив и необходимых преобразований в социально-экономическом плане.

Современные угрозы и связанные с ними вызовы негативно воздействуют на систему национальной безопасности страны в целом. Достижение параметров устойчивого развития является одной из основных задач, от решения которой напрямую зависит логическое завершение намеченной стратегической цели – улучшения качества жизни населения. Необходимость решения этой сложной задачи обусловлена локализацией и ликвидацией угроз, отрицательно воздействующих на экономические системы регионального развития.

Окрепил В.В. отмечает, что «качество жизни определяется всей совокупностью факторов существования и развития человека. Оно проявляется посредством легкости или затрудненности удовлетворения человеческих потребностей: индивидуальных и общественных» [1].

Для нашей страны устойчивое развитие, прежде всего, требует разработки современной системной концепции, которая позволит просчитать и выявить все возможности и условия нового вектора развития государства – сформировать структуру, определить средства и варианты оптимизации управления государственными процессами на федеральном, региональном и муниципальном уровнях на долгосрочную перспективу. Детальная разработка механизмов управления политическими, правовыми, экологическими, экономическими и социальными процессами является залогом устойчивого развития настоящих и будущих поколений населения страны.

Беленцов В.Н. отмечает, что «проблема поиска рационального сочетания экономической и социальной составляющей результативной эффективности относится к классу экономических задач на равновесие. Она вытекает из задачи на равновесие между спросом и предложением, где целью её решения является определение параметров оптимального экономического роста» [2].

При этом в сложившихся за последние десятилетия геополитических изменениях в мире полноценное функционирование национальной экономики невозможно без взаимодействия с транснациональными корпорациями. Обеспечение экономической безопасности России как основного элемента в системе национальной безопасности необходимо рассматривать в контексте новой реальности.

Системный кризис, ставший следствием непроработанных ограничительных мер стратегических противников России, проявился дестабилизирующим фактором современного экономического развития. Для выхода из кризиса необходимо осуществить институциональные преобразования сложившейся модели правового регулирования и экономического роста.

Бородина Н.А. отмечает, что «роль России как развитой страны будет не просто «догонять» развитые страны, но идти с ними наравне, а по некоторым параметрам и опережать, параллельно совершенствуя свои экономические институты» [3].

Характерными чертами системного кризиса на современном этапе развития являются глубокие технологические и институциональные изменения, которые необходимо использовать с целью обновления технической и технологической базы. Финансовый кризис, формирование новоиспеченных валютных конфигураций, дисбалансы экономической жизни, появление новых финансовых институтов и мировых валют – это следствие взаимных ограничительных мер, следствием которых являются:

- дефицитный бюджет;
- рост безработицы;

- отсутствие экономического роста;
- отсутствие инвестиций;
- падение ликвидности основных и оборотных фондов;
- срыв и невыполнение социальных обязательств;
- снижение курса национальной валюты.

Основные признаки формирующейся экономической модели проявляются при взаимодействии с дружественными странами и становятся новой реальностью международного взаимодействия.

Удовлетворение потребностей населения является ключевой задачей развития и экономического роста. Капиталовложение, бережливое использование природных ресурсов, ориентация в повседневном использовании высокотехнологического продукта повышает ценность настоящего и будущего. Количественный и качественный рост необходимо адаптировать к современной модели устойчивого развития, повышенный уровень неконтролируемой производственной деятельности является основной угрозой окружающей природной среде.

Бобылев С.Н. отмечает, что «очевидно, что для сохранения природы регионы должны идти на определенные экономические жертвы, ограничивая свою экономическую активность в области природоэксплуатирующих и загрязняющих производств, которые составляют подавляющую часть российской экономики» [4].

Формирование эффективного механизма развития региона подразумевает разработку современных критериев, позволяющих учитывать основные аспекты устойчивого развития и интеграции новой модели в хозяйственной и иной деятельности населения.

Сбалансированность в развитии различных регионов страны требует определения отбора критериев и основного принципа устойчивого развития, который должен учитывать все прогнозируемые явления социальных и естественных законов развития человеческого общества. Применение данного подхода позволит выявить приоритетные направления и обоснованно подходить к вопросам устойчивого развития регионов.

Грабельных Т.И. отмечает, что «в современных условиях приобретает огромную важность проведение экспертных исследований как специфики достижения социальной устойчивости в стабильных условиях, так и реализации всего спектра возможностей в кризисном обществе под воздействием глобальной турбулентности» [5].

Применение к современному этапу развития коэволюционного подхода соответствует формированию основных принципов развития, он позволяет выявить и отразить согласованное функционирование подсистем общественного бытия и развития всех направлений института устойчивого развития.

Под развитием понимается прогрессивное изменение в экономической сфере, прежде всего, оно может быть качественным и количественным, – это показатель экономического роста, структурных изменений, способствующих улучшению качества жизни населения.

Полноценная оценка развития региона рассматривает многие параметры, основными полноправными показателями являются социальные. Развитие региона подразумевает улучшение образования и здравоохранения, увеличение доходов, доступность питания, оздоровление окружающей природной среды, обогащение культуры, равенство возможностей, борьбу с бедностью и возможность самореализоваться в пределах личной свободы. Основной целью устойчивого экономического развития является создание необходимых условий населению для полноценной жизнедеятельности.

Кузнецов А.П. отмечает, что «устойчивое развитие как стратегическое направление развития человеческой цивилизации стало ответом на глобальные вызовы, возникшие в результате ухудшения окружающей среды, увеличения социальной и экономической дифференциации стран, роста бедности населения и ряда других причин» [6].

Необходимо отметить, что реализация программ устойчивого развития в регионах должна осуществляться с учетом специфики территории, они характеризуются целостностью, комплексностью и управляемостью.

Регионы страны являются наиболее устойчивыми для изменений территориальными образованиями, обладая оптимальной структурой, сформировавшейся за длительный период существования, они имеют необходимый опыт совмещения теории и практики стимулирования преобразований на подведомственной административной территории.

Это особенно актуально в настоящее время, когда необходимо переносить на региональный уровень центр тяжести проводимых экономических реформ. Усиление роли территорий в реализации государственной политики по развитию регионов позитивно скажется на развитие страны в целом.

Кремлев Н.Д. отмечает, что «устойчивое развитие страны и её регионов должно быть направлено на удовлетворение потребностей человека при сохранении окружающей среды и рационального использования ресурсов с тем, что потребности населения могли быть удовлетворены не только для настоящего, но и для будущего поколений» [7].

Приоритетным и принципиальным подходом при осуществлении реформ на уровне территорий должна быть социальная направленность вводимых изменений с учетом хозяйственного развития и экономического потенциала.

Нельзя считать территорию устойчиво развивающейся исходя только из признаков роста экономических показателей. Развитие необходимо направить на достижение показателей качества жизни, при положительной динамике всего комплекса региональных показателей.

Устойчивость результатов развития определяет возможность региона развивать и сохранять значение достигнутых параметров качества услуг, оказываемых населению, в пределах приемлемого порога безопасности, с учетом колебаний и воздействий от внешних и внутренних факторов, грозящих падением уровня и качества жизни населения. Развитие экономики на новом качественном уровне достигается посредством преодоления множества различных препятствий в организационно-правовых сферах жизнедеятельности.

Андреева Л.В. отмечает, что «государственная политика направлена на создание необходимых правовых условий для внедрения инструментов устойчивого развития, глобальный характер возникающих при этом проблем предполагает учет международных актов при разработке национальных нормативных источников» [8].

Особенности нашей страны требуют от государства более активной деятельности по сравнению с мировой практикой и опытом развитых стран. Региональное многообразие, масштабность страны и территорий, состояние экономических и правовых институтов, диспропорции в развитии центра и окраин указывают на необходимость применения индивидуального подхода к решению проблем каждого региона страны.

Переход к современной экономической модели требует кардинального реформирования в сфере государственного регулирования федерального и регионального развития страны. Основные направления реформирования необходимо определять устойчивостью территорий, экономических прав, рыночными механизмами, структурой собственности, особо необходимо предусматривать расширение прав регионов.

Гагарина Г.Ю. отмечает, что «в региональной экономической системе, пребывающей в равновесном состоянии продолжительное время, накапливаются противоречия, приводящие к нестабильному состоянию, так как система с подобной структурой не решает задачи по обеспечению жизнедеятельности человека» [9].

Приоритетным направлением экономических изменений в сфере устойчивого развития является инновационная модель экономического развития и модернизация регионов России.

В достижении такой цели ключевая роль отводится региональным и муниципальным органам власти. Основная их задача на всех этапах состоит в создании необходимых условий для привлечения инвестиций, развития и реализации предпринимательской инициативы населения.

Устойчивое развитие региона, наряду с теоретическими и практическими закономерностями развития и функционирования экономики, имеет свойственные

территории специфические особенности, которые определяются удельным весом производимой продукции, экспортным и ресурсным потенциалом. Устойчивость функционирования базовых структурообразующих производств определяется их способностью предотвратить негативные воздействия, обеспечением выпуска планируемой номенклатуры товаров с наименьшими затратами в необходимые сроки.

При уровне самообеспеченности территории ресурсами «природными, производственными, финансовыми и трудовыми», гарантирующем положительную динамику экспорта и импорта продукции из региона, достигается самодостаточность территории – это основа проведения устойчивой экономической политики в социально-экономическом векторе развития региона.

Самоокупаемость территории достигается посредством получения дохода от производственной и иной хозяйственной деятельности юридических и физических лиц, направленной на обеспечение производственного процесса, с учетом максимальной прибыли и самоокупаемости расходов. Экономическая самостоятельность территории выражается посредством обеспеченности материальными ресурсами, дающими возможность проводить независимую экономическую политику.

Устойчивое развитие территории – это многоаспектный комплексный процесс, который способствует решению проблем на региональном уровне. Качественное улучшение условий жизни населения достигается путем экологического и социально-экономического развития, сбалансированности и рациональности использования потенциала региона, с учетом природных особенностей региона.

Третьякова Е.А. отмечает, что «мировым сообществом активно разрабатывается концепция устойчивого развития социальноэкономических систем, однако базовые положения данной концепции требуют переноса приоритетов исследования с общемирового на национальный и региональный уровень для обеспечения большей эффективности управления» [10].

### **Заключение**

В условиях глобализации, активизации внутренних и внешних процессов жизнедеятельности реализация вопросов управления устойчивым социально-экономическим развитием, выработка теоретико-методологических методов и положений управления устойчивым развитием территорий необходимы и актуальны.

Сущность категории «устойчивость системы» заключается в способности бесперебойно функционировать, стабильно развиваться в краткосрочной и долгосрочной перспективе в условиях быстро меняющейся окружающей среды. Устойчивость выступает основным условием современной модели системы устойчивого развития регионов.

Специфика устойчивости системы должна выражаться в ее подсистемах, переход территорий на модель управления устойчивого развития в современных условиях требует актуализации правовых норм, качества экономического развития и поэтапного роста. Основным фактором улучшения уровня жизни населения должны стать знания и инновации. Переход региональной промышленности на инновационный путь развития будет способствовать формированию современной инновационной политики, направленной на реализацию основных направлений технологического уклада и социально-экономического, технического и экологического развития региона. Для успешной реализации политики устойчивого развития необходимы целенаправленные меры государственной поддержки. Формирование необходимого инновационного климата нужно связывать с одновременным повышением качества жизни населения. Объединение усилий всех ветвей власти, создание условий государственно-частного партнерства будет способствовать становлению и развитию института региональной инновационной системы устойчивого развития.

**Список источников**

1. Окрепилов В.В., Гагулина Н.Л. Изменения климата, устойчивость и качество жизни // Устойчивое развитие вызова и возможности: сб. науч. статей / под ред. Е.В. Викторовой. СПб., 2020. С. 202–209.
2. Беленцов В.Н., Рытова Н.А. Результативная эффективность социально-экономических систем и ее составляющие // Менеджер. 2020. № 1 (91). С. 13–19.
3. Бородин Н.А., Жаркова Д.Ю. Экономика для устойчивого развития // Экологические чтения – 2022: сб. материалов XIII Нац. науч.-практ. конф. 2022. С. 112–114.
4. Бобылев С.Н. Устойчивое развитие в интересах будущих поколений: экономические приоритеты // Мир новой экономики. 2017. № 3. С. 90–96.
5. Грабельных Т.И., Саблина Н.А., Лесниковская Е.В. Экспертные методы и экспертные технологии в достижении эффективности управления социальными процессами в условиях глобальной турбулентности // Экспертные институты в XXI веке: принципы, технологии, культура: сб. науч. трудов. Иркутск. 2022. С. 117–119.
6. Кузнецов А.П., Селименков Р.Ю. Устойчивое развитие региона: эколого-экономические аспекты: монография. Вологда: ИСЭРТ РАН, 2015. 136 с.
7. Кремлев Н.Д. Основы методологии отражения устойчивого развития региона (на примере Курганской области) // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 10-1. С. 201–206.
8. Андреева Л.В. Правовые условия для устойчивого развития экономики: российский опыт // Четвертые цивилистические чтения памяти профессора М.Г. Прониной: сб. материалов. Минск. 2022. С. 12–16.
9. Гагарина Г.Ю., Чайникова Л.Н., Архипова Л.С. Роль анализа устойчивого развития регионов России в стратегическом планировании // Федерализм. 2019. № 4. С. 5–21.
10. Третьякова Е.А., Осипова М.Ю. Сочетание статистического и динамического подходов в оценке устойчивого развития региональных социально-экономических систем // Вестник Пермского университета. 2016. № 2 (29). С. 79–92.

**References**

1. Okrepilov V.V., Gagulina N.L. Izmeneniya klimata, ustojchivost' i kachestvo zhizni // Ustojchivoe razvitie vyzova i vozmozhnosti: sb. nauch. statej / pod red. E.V. Viktorovoj. SPb., 2020. S. 202–209.
2. Belencov V.N., Rytova N.A. Rezul'tativnaya effektivnost' social'no-ekonomicheskikh sistem i ee sostavlyayushchie // Menedzher. 2020. № 1 (91). S. 13–19.
3. Borodina N.A., Zharkova D.Yu. Ekonomika dlya ustojchivogo razvitiya // Ekologicheskie chteniya – 2022: sb. materialov XIII Nac. nauch.-prakt. konf. 2022. S. 112–114.
4. Bobylev S.N. Ustojchivoe razvitie v interesah budushchih pokolenij: ekonomicheskie prioritety // Mir novoj ekonomiki. 2017. № 3. S. 90–96.
5. Grabel'nyh T.I., Sablina N.A., Lesnikovskaya E.V. Ekspertnye metody i ekspertnye tekhnologii v dostizhenii effektivnosti upravleniya social'nymi processami v usloviyah global'noj turbulentsnosti // Ekspertnye instituty v XXI veke: principy, tekhnologii, kul'tura: sb. nauch. trudov. Irkutsk. 2022. S. 117–119.
6. Kuznecov A.P., Selimenkov R.Yu. Ustojchivoe razvitie regiona: ekologo-ekonomicheskie aspekty: monografiya. Vologda: ISERT RAN, 2015. 136 s.
7. Kremlev N.D. Osnovy metodologii otrazheniya ustojchivogo razvitiya regiona (na primere Kurganskoj oblasti) // Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk. 2016. № 10-1. S. 201–206.
8. Andreeva L.V. Pravovye usloviya dlya ustojchivogo razvitiya ekonomiki: rossijskij opyt // Chetvertye civilisticheskie chteniya pamyati professora M.G. Proninoy: sb. materialov. Minsk. 2022. S. 12–16.
9. Gagarina G.Yu., Chajnikova L.N., Arhipova L.S. Rol' analiza ustojchivogo razvitiya regionov Rossii v strategicheskom planirovanii // Federalizm. 2019. № 4. S. 5–21.

10. Tretyakova E.A., Osipova M.Yu. Sochetanie statisticheskogo i dinamicheskogo podhodov v ocenke ustojchivogo razvitiya regional'nyh social'no-ekonomicheskikh sistem // Vestnik Permskogo universiteta. 2016. № 2 (29). S. 79–92.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 09.11.2022; одобрена после рецензирования: 25.11.2022; принята к публикации: 28.11.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 09.11.2022; approved after review: 25.11.2022; accepted for publication: 28.11.2022

*Сведения об авторах:*

**Белхароев Хаджимурад Уматгиреевич**, доцент кафедры теории и истории государства и права Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат юридических наук, доцент, e-mail: [x101010x@yandex.ru](mailto:x101010x@yandex.ru)

**Ситкова Карина Евгеньевна**, старший научный сотрудник ученого совета Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат юридических наук, e-mail: [sitkova.k@igps.ru](mailto:sitkova.k@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2201-9258>

*Information about the authors:*

**Belkharoev Khadzhimurad U.**, associate professor of the department of theory and history of state and law Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of law, associate professor, e-mail: [x101010x@yandex.ru](mailto:x101010x@yandex.ru)

**Sitkova Karina E.**, senior researcher of the academic council Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of law, e-mail: [sitkova.k@igps.ru](mailto:sitkova.k@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2201-9258>

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

Научная статья  
УДК 159.9.07:378

## ОСОБЕННОСТИ ОТНОШЕНИЯ К ПРОЦЕССУ ОБУЧЕНИЯ В ГЕНДЕРНО ОДНОРОДНЫХ ПО СОСТАВУ И СМЕШАННЫХ УЧЕБНЫХ КОЛЛЕКТИВАХ КУРСАНТОВ

Баскин Юрий Григорьевич;

✉ Свидзинская Галина Борисовна.

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

✉ [gns2@mail.ru](mailto:gns2@mail.ru)

*Аннотация.* С помощью метода семантического дифференциала в течение всего срока обучения проводился анализ отношения к дисциплине «Химия» и полученным базовым знаниям в гендерно однородных и смешанных группах курсантов Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. Выявлена динамика изменения этого отношения в ходе обучения. Показано, что отношение к предмету зависит от пола обучающихся и состава группы. Слабая школьная подготовка и непонимание практического применения получаемых знаний приводит к негативному отношению курсантов юношей к занятиям. Для девушек важнее эмоциональное удовлетворение от успехов в учебе. Желание занять лидирующее положение в коллективе и готовность помочь отстающим создают атмосферу уважительного отношения к знаниям в смешанной группе, облегчают адаптацию к новым условиям вуза силовой структуры, повышают показатели академической успеваемости и восприятие предмета в течение всего срока пребывания в университете. Отмечено, что наличие в составе группы только 5–10 % курсантов женского пола может оказаться некомфортным для девушек и привести на начальном этапе обучения к гендерному противостоянию, поэтому при комплектовании учебных коллективов на первом курсе целесообразно собирать курсантов-девушек в одну учебную группу.

*Ключевые слова:* смешанное обучение, вуз МЧС России, метод семантического дифференциала, образовательный процесс, предмет «Химия»

**Для цитирования:** Баскин Ю.Г., Свидзинская Г.Б. Особенности отношения к процессу обучения в гендерно однородных по составу и смешанных учебных коллективах курсантов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 109–120.

## FEATURES TO THE LEARNING PROCESS ATTITUDE IN GENDER-HOMOGENEOUS AND CO-EDUCATIONAL GROUPS OF CADETS

Baskin Yuri G.;

✉ Svidzinskaya Galina B.

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

✉ [gns2@mail.ru](mailto:gns2@mail.ru)

*Abstract.* The semantic differential method was employed to analyze on gender-homogeneous and co-educational cadet groups of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM

of Russia attitudes towards discipline «Chemistry» and the basic knowledge during the total training period. The time history of this attitude during the learning process was revealed. It is shown that that the attitude to the subject depends on the cadet gender and the structure of the group. Insufficient schooling and misunderstanding of the acquired knowledge practical application leads to a negative boy cadets' attitude to classes. For girls, emotional satisfaction from academic success is more important. The desire to take a leading position in the team and the willingness to help the underachievers creates an atmosphere of respect for knowledge in a co-educational group, facilitates the adaptation to the new conditions of the power structure university, increases academic performance and perception of the subject during the whole study period. It is identified, if the number of female cadets averaged only 5–10 % in a group, it may be uncomfortable for girls and leads to gender confrontation at the initial stage of training, therefore, when recruiting 1st year training groups, it is advisable to gather female cadets into one study group.

*Keywords:* co-education, university of EMERCOM of Russia, semantic differential method, educational process, subject «Chemistry»

**For citation:** Baskin Yu.G., Svidzinskaya G.B. Features of the attitude to the learning process in gender-homogeneous and mixed educational groups of cadets // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 4. P. 109–120.

## Введение

Увеличение женского контингента в оборонных ведомствах и силовых структурах Российской Федерации является естественным продолжением тех социально-экономических и демографических факторов, которые отражают повышение роли женщины в мире. Приказ Министерства труда Российской Федерации № 313н от 13 мая 2021 г. существенно сократил перечень должностей и работ, на которых ограничен труд женщин в нашей стране. Расширяются функциональные обязанности женщин в экономике, политике, во многих областях они занимаются такими видами деятельности, которые обеспечивают национальную безопасность и боеготовность государства. В Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий женщины успешно работают на должностях, предпочтительно не связанных с риском для здоровья: в качестве инспекторов пожарного надзора, диспетчеров, сотрудников пожарно-технических экспертных и аналитических лабораторий, кадровых и юридических служб, психологов [1]. Подобная деятельность, не связанная с повышенными физическими нагрузками, требует тем не менее обширных теоретических знаний как по специальным, так и по общенаучным дисциплинам, что привело к появлению в высших учебных заведениях силовых структур курсантов – девушек. Присутствие в традиционно мужских учебных коллективах обучающихся женского пола вызвало необходимость менять методические подходы к преподаванию, учитывать психофизиологические особенности курсантов. Игнорировать те явления, которые возникли при совместном обучении, было бы неверно, тем более что, как отмечают многие авторы, гендерные проблемы взаимоотношений внутри учебных групп и гетерогенных коллективах силовых структур, вызванные как психологическими, физическими и физиологическими особенностями, так и официальной субординацией, приводят в последствии к профессиональной деформации у женщин-сотрудников МЧС России [2, 3, 4].

Многочисленные исследования, проведенные с целью оптимизации учебно-воспитательного процесса для курсантов женского пола с учётом физиологических и психологических особенностей их организма, показали, что специфические условия образовательной деятельности и повседневного быта высшего учебного заведения силовых структур (значительные физические, эмоциональные и умственные нагрузки, уставной уклад жизни, взаимоотношения на уровне «начальник-подчиненный», выполнение служебных

обязанностей) при переходе от школьного к вузовскому этапу обучения переживаются девушками тяжелее и требуют более длительного периода адаптации, чем это необходимо юношам. Так А.Н. Николаева отмечает, что основной адаптационный период у молодых людей заканчивается в первом семестре, а у девушек он продолжается в течение первого года обучения. Более сильные эмоциональные переживания, характерные для женской психики, связанные как с новыми условиями нахождения в вузе, отрывом от привычной домашней обстановки, так и с нехваткой времени для качественного выполнения учебных заданий, приводят к ухудшению здоровья девушек. Кроме того, на начальном этапе обучения закладываются основы профессионализма, формируется внутренняя потребность к самосовершенствованию в выбранной области деятельности. Неумение приспособиться к новым условиям вызывает развитие так называемого «адаптационного синдрома», результатом которого может быть не только ухудшение здоровья курсантов, но и отсутствие мотивации к освоению преподаваемых дисциплин [5].

Исследуя вопросы обучения курсантов женского пола, С.А. Никитина, О.В. Карамыхова и М.В. Виниченко с соавторами в своих работах показали, что образовательный процесс в вузе необходимо строить на основе лично ориентированных методов обучения и воспитания, создания позитивных поведенческих моделей, с учетом гендерного подхода и специфики совместного обучения [2–4].

Недостатком большинства исследований, посвященных гендерным вопросам обучения в вузах силовых структур, является то, что возникающие проблемы анализируются отдельно для девушек и юношей. Однако учебные группы формируются, как правило, по смешанному признаку, и обе группы обучающихся оказывают взаимное влияние друг на друга, усложняя или облегчая адаптацию к новым условиям. Причем это влияние, с учетом закрытой системы вуза силовой структуры и длительного совместного нахождения обучающихся в стенах учебного заведения, оказывает гораздо более значительное влияние на эмоциональное состояние курсантов, чем в студенческой среде.

В большинстве работ, посвященных вопросам обучения курсантов, исследуется только начальный, наиболее сложный этап привыкания к новым условиям, однако процессы адаптации и профессионального становления не заканчиваются на первом курсе. Р.К. Сержниковой и В.В. Загородневым описаны два этапа адаптации к условиям образовательной организации силовых структур:

– этап начального формирования профессиональной самоактуализации, сопровождаемый поиском внутренней мотивации к обучению и формированием профессиональных целей (1–3 курс обучения);

– этап вторичной адаптации, свойственный молодым людям со сформировавшимися жизненными и профессиональными ценностями, осознающими важность выбранной профессии (4–5 курс) [6].

Многолетние исследования, проведенные с помощью метода семантического дифференциала в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России, посвященные отношению к изучаемым предметам на примере дисциплины «Химия», качеству освоения предмета, пониманию ценности получаемых знаний и формированию отношения к выбранной профессии в ходе обучения как основным задачам образовательного и воспитательного процесса в вузе, показали, что успеваемость и формирование профессионального самосознания зависят от прохождения в коллективе курсантов адаптационных процессов и уровня конфликтности в группе. При этом присутствие в учебных группах курсантов женского пола способно как усложнять эти процессы, вызывая в некоторых случаях гендерное противостояние, если количество девушек невелико и составляют 5–10 %, так и облегчать их, если учебный коллектив состоит из большего количества девушек [7].

Задачей настоящего исследования было с помощью метода семантического дифференциала провести анализ влияния гендерного состава групп на адаптационные процессы в учебных коллективах силовых структур, выявить факторы, определяющие

показатели успеваемости, мотивацию к получению знаний и трансформацию отношения к базовым дисциплинам в ходе обучения.

Целью исследования являлась выработка рекомендаций по комплектованию оптимального состава учебных групп для повышения качества приобретаемых знаний как на начальном этапе, так и в ходе обучения в вузе.

### **Объекты и методы исследования**

В качестве объекта исследования были выбраны курсанты Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, обучающиеся по специальности «Судебная экспертиза». Одна из групп респондентов состояла только из юношей (18 чел.), во второй было девять юношей и шесть девушек. Исследование проводилось в течение шести лет и охватывало весь период обучения в университете. В ходе эксперимента курсантам предлагалось выразить отношение к предмету «Химия» и будущей профессии, анонимно заполнив бланк семантического дифференциала. Время, выделенное на заполнение бланка, составляло 5–10 мин. Период заполнения бланка – ежегодно, в начале весеннего семестра. Поскольку количество респондентов в группах не позволяло применить факторный анализ для оценки результатов, обработка данных велась графическим методом [7–9].

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Результаты исследования представлены на рис. 1–3. Выбор дисциплины «Химия» для анализа отношения курсантов к базовым дисциплинам и его трансформации в ходе обучения объясняется рядом факторов:

– «Химия» – базовый предмет для будущих специалистов по пожарной безопасности, так как основным процессом на пожаре является именно химическая реакция горения. Без знания особенностей протекания этой реакции невозможно сформировать профессиональное освоение специальных дисциплин на старших курсах университета;

– особенно важно знание химии для специалистов пожарно-технических экспертиз, применяющих в своей работе физико-химические методы анализа. Предмет на данной специальности изучается в течение двух семестров на первом курсе, объем дисциплины составляет 288 ч (из них 172 контактных) и формирует основу для понимания пожарной безопасности технологических процессов, физико-химических основ развития и тушения пожаров, материаловедения, естественнонаучных методов судебно-экспертных исследований и других специальных дисциплин;

– предмет «Химия» сочетает в себе как теоретический лекционный курс, так и выполнение расчетных и исследовательских заданий на практических и лабораторных занятиях, что способно заинтересовать различные группы обучающихся;

– «Химия» не входит в число дисциплин, требуемых для поступления в университет. Это приводит к тому, что первокурсники обладают слабыми школьными знаниями по предмету. Особенно это касается обучающихся на специальности «Судебная экспертиза», которую абитуриенты связывают, прежде всего, с гуманитарной юридической практикой;

– анализу отношения именно к предмету «Химия» в учебных заведениях различного уровня посвящено большое количество международных исследований, проводимых методами психосемантики, а именно семантическим дифференциалом, то есть при организации эксперимента в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России была возможность использовать международный опыт и сравнить полученные данные [7, 9–18].

Представленные результаты (рис. 1, 2) наглядно свидетельствуют, что негативное восприятие предмета характерно, прежде всего, для курсантов-юношей, особенно в ходе изучения химии на первом курсе. Предмет им неинтересен, они не видят смысла в его изучении

(высокие значения по шкалам «скучная», «второстепенная», «неиспользуемая», «ненужная», «рутинная», «однообразная»), соответственно низкие значения имеют дескрипторы, отвечающие за аффективный компонент обучения («радостная», «приятная», «дружелюбная», «любимая»). На негативное восприятие предмета несомненно влияют и служебные взыскания, получаемые юношами за задолженности по дисциплине.



Рис. 1. Результаты анкетирования курсантов, обучающихся в группе, состоящей только из юношей:

— 1 курс; — 2 курс; — 3 курс; — 4 курс

У девушек показатели, отвечающие за эмоциональное восприятие химии, гораздо выше и характеризуются устойчивым преобладанием положительных эмоций, но они больше нервничают из-за результатов аттестации, предмет кажется им сложным, а получаемые знания с трудом выстраиваются в стройную систему (высокое значение по показателю «хаотичная»). При этом курсантам-девушкам химия интересна, они отмечают ее развивающий, доминирующий, практический характер для будущей специальности. Высокие значения наблюдаются у девушек по шкалам «помогающая», «развивающая», «умственная», «деятельная». Положительное восприятие предмета курсантами женского пола оказывает влияние и на сокурсников. В смешанной группе, несмотря на негативное отношение к предмету значения по шкалам «развивающая», «помогающая», «умственная», «востребованная» у юношей выше, чем в группе, состоящей только из молодых людей.



Рис. 2. Результаты анкетирования курсантов, обучающихся в группе, состоящей из девушек и юношей:

— 1 курс (девушки); — 1 курс (юноши); — 2 курс; — 3 курс; — 4 курс

Основным показателем качества обучения в вузах является академическая успеваемость. У девушек она традиционно выше, чем у молодых людей. Средний балл по результатам аттестации по химии в группе, где девочек не было, составил 3,3; у мальчиков в смешанной группе – 3,8, а у девочек – 4,0. Следует отметить, что интеллектуальный потенциал и уровень подготовки у курсантов обеих групп отличался незначительно, но девушки традиционно более усидчивы и ответственные, для них важна количественная оценка результата выполнения задания. В смешанной группе, где девушек было сравнительно много, они с удовольствием консультировали молодых людей, что помогало девочкам ощущать интеллектуальное, за неимением физического, превосходство, что закономерно повышало и успеваемость юношей. Проведенные ранее исследования показали, что в группах студентов этот фактор превосходства не имеет большого значения, но в коллективах курсантов, особенно в период адаптации на младших курсах, становится существенным [7, 18].

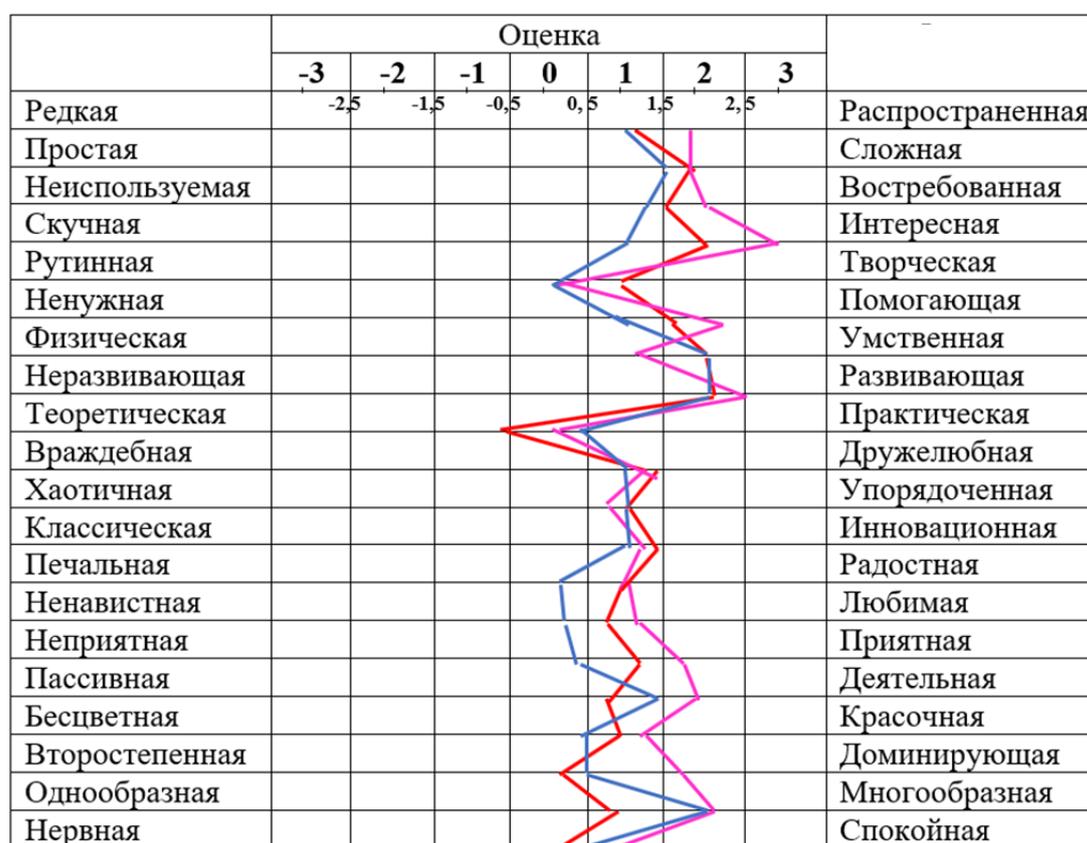


Рис. 3. Результаты анкетирования курсантов пятого курса:

— смешанная группа; — группа, состоящая только из мальчиков; — девушки

Заинтересованность предметом определяет внутреннюю мотивацию к его изучению, а значит способствует формированию более глубоких знаний. Однако обратная зависимость соблюдается не всегда. Исследования, проведенные в университете ГПС МЧС России и подтвержденные зарубежными источниками, показывают, что хорошие показатели успеваемости у обучающихся могут и не быть отражением заинтересованности в получении знаний по конкретной дисциплине. Стремление получить высокий балл может указывать на финансовые причины, желание завоевать уважение в коллективе, заработать различные формы поощрения, например, облегчить выполнение служебных обязанностей или требований дисциплины [7, 14–16]. Особенно ярко это проявляется в коллективах курсантов, где девушек мало. Результаты анкетирования в таких учебных коллективах на первом курсе показали, что при хороших показателях успеваемости отношение к предмету «Химия» у девушек-курсантов было более негативное, чем у юношей. Попытки в процессе адаптации занять лидирующее положение в мужском коллективе приводили к гендерному противостоянию, а не желанию оказать помощь сокурсникам, испытывающим сложности при изучении химии. Переживания, обусловленные трудностями в освоении учебных дисциплин, низкие оценки вызывали у курсантов-девушек сильные негативные эмоции [7, 18]. Появление агрессии в период адаптации у курсантов женского пола отмечает в своем исследовании и А.Н. Николаева [5].

В ходе обучения отношение к учебной деятельности трансформируется, и как отмечают российские и зарубежные исследователи в студенческих коллективах, происходит падение мотивации к получению знаний, особенно на втором курсе. Приобретение знаний как таковых на первом курсе сменяется на разочарование от процесса обучения и дальнейшим ростом мотивации с целью получения профессиональных знаний и навыков на старших курсах [7, 10, 19, 20]. Рассмотрение данных, представленных на рис. 1–3, показывает, что подобная динамика характерна для смешанной группы курсантов. На втором

курсе средний показатель отношения к предмету «Химия» улучшается по сравнению с негативным отношением юношей-первокурсников только по шкалам «творческая», «помогающая», «умственная» и «многообразная», показатели интереса к предмету его востребованности крайне низки, химия вызывает у курсантов скорее негативные эмоции. Начиная с третьего курса, фиксируется постепенное по всем показателям улучшение отношения к химии.

В группе, состоящей только из юношей, динамика отношения к предмету имеет существенные отличия. Уже на втором курсе возникает понимание важности предмета, его практического применения в будущей профессиональной деятельности, растет интерес к химическим знаниям, соответственно улучшается и эмоциональное восприятие дисциплины. Наиболее высокие значения по шкалам, отвечающим за аффективный компонент («любимая», «радостная», «красочная») и когнитивную составляющую («умственная», «развивающая»), фиксируются на третьем году обучения и далее несколько снижаются.

Объяснить подобную динамику можно тем, что мышление мужчин более рационально. На третьем курсе заканчиваются предметы, на которых непосредственно используются знания по химии. Современные судебные эксперты в своей практике применяют инструментальные методы исследований, компьютерные технологии, сведения, полученные на химии, как базовой дисциплине, используются в ограниченном объеме, становятся более упорядоченными. Признавая востребованность полученных знаний и интерес к предмету, юноши из моногруппы дают более низкие оценки по дескрипторам «умственная», «многообразная», «развивающая», соответственно снижается и эмоциональное восприятие дисциплины.

Пятикурсники – это люди со сформированными представлениями о будущей профессии, понимающие, что потребуются им при переходе к самостоятельной трудовой деятельности. Выражая интерес к химическим знаниям, их востребованность, развивающий и помогающий характер, курсанты, тем не менее, отмечают, что обучение носило рутинный, теоретический характер. Им не хватало инновационности, творчества и связи с практикой. Что указывает на необходимость изменения методических подходов при обучении базовым дисциплинам и привлечения курсантов уже на младших курсах к научно-исследовательской работе и более тесной связи изучаемых тем с пожарной практикой. И юноши, и девушки фиксируют сложности и нервное напряжение при изучении химии, что указывает на пробелы в школьном образовании по предмету. Все обучающиеся на первом курсе считали химию редкой дисциплиной (рис. 1–3).

Наиболее положительное восприятие предмета остается у девушек, особенно по шкалам, характеризующим аффективную составляющую («радостная», «любимая», «приятная», «красочная»), им химия интересна, они отмечают ее доминирующий характер и важность полученных знаний, для будущей профессиональной деятельности. У молодых людей в моногруппе эти показатели самые низкие.

### Заключение

Негативное отношение к базовым предметам курсантов-юношей в начальный период обучения, эмоциональная неудовлетворенность, сложности, возникающие при изучении предмета, последствия служебных взысканий за академические задолженности, снижают мотивацию к обучению, качество и объем получаемых знаний, что может привести к проблемам в освоении профессиональных компетенций на более старших курсах. Молодому человеку, особенно первокурснику, иногда сложно из-за занятости попасть на консультацию к преподавателю, некоторым стыдно признаться, что они не понимают изучаемый материал. Возможность получить консультацию в группе на самоподготовке чрезвычайно важна в этих условиях. Такие женские качества, как чуткость, способность к сопереживанию, стремление помочь отстающим облегчают освоение дисциплины и способствуют адаптации к новым условиям обучения в вузе силовой структуры. Одновременно как у юношей, так и у девушек

повышается самооценка и формируется не противостояние, а здоровая конкуренция, мотивирующая к учебной деятельности и овладению профессией.

При этом следует учитывать, что наличие в составе группы только 5–10 % курсантов женского пола может оказаться некомфортным для девушек и привести на начальном этапе обучения к гендерному противостоянию, поэтому при комплектовании учебных коллективов более целесообразно не распределять девушек по группам в количестве 1–3 чел. от списочного состава, а по возможности собирать их в одну учебную группу.

#### **Список источников**

1. Пустовалова Е.И., Ложкарев А.И., Бараковских М.В. Выбор профессии риска: гендерный аспект // Проблемы современного педагогического образования. 2016. № 51-4. С. 320–326.
2. Никитина С.А. Воспитание девушек-курсантов в системе военного образования // Вестник Костромского государственного университета. Сер.: Педагогика. Психология. Социокинетика. 2016. Т. 22. С. 160–163.
3. Motivation of university authorities aimed at creating favorable learning environment in the course of restructuring higher education institutions / M.V. Vinichenko [et al.] // EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education. 2018. Vol. 14. № 5. P. 1899–1910.
4. Карамыхова О.В., Кошелева А.О., Егорушкина Т.Д. Формирование гендерной компетентности у курсантов женского пола в процессе обучения в военном вузе // Психология образования в поликультурном пространстве. 2016. № 1. С. 113–118.
5. Николаева А.А. Педагогическая технология ускорения адаптации курсантов женского пола образовательных организаций высшего образования МВД России на начальном этапе обучения: дис. ... канд. пед. наук. СПб., 2021. 161 с.
6. Серёжникова Р.К. Загороднев В.В. Подготовка к профессиональной самореализации как фактор социальной активности курсантов в военном вузе // Социализация в глобальном мире: вызовы современности: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. Калуга, 2021. С. 85–95.
7. Баскин Ю.Г., Свидзинская Г.Б. Приоритетные направления психолого-педагогических исследований в вузах МЧС России. Семантический дифференциал как основной метод диагностики: монография. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2020. 168 с.
8. Svidzinskaya G.B., Baskin Y.G., Mezentseva M.E. Using the Semantic Differential Method to assess the learning motivation and attitude of first-year students' towards chemistry in University of Emercom of Russia // International Journal of Education and Practice. 2019. Vol. 7. № 2. P. 88–100.
9. Баскин Ю.Г., Свидзинская Г.Б. Опыт использования метода семантического дифференциала в образовательном процессе // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 1. С. 158–165.
10. Chan J.Y., Bauer C.F. Learning and Studying Strategies used by General Chemistry Students with Different Affective Characteristics // Chemistry Education Research and Practice. 2016. Vol. 17. № 4. P. 675–684.
11. Xu X., Lewis J.E. Refinement of a chemistry attitude measure for college students // Journal of Chemical Education. 2011. Vol. 88. № 5. P. 561–568.
12. Bauer C.F. Attitude toward Chemistry: A semantic differential instrument for assessing curriculum impacts // Journal of Chemical Education. 2008. Vol. 85. № 10. P. 1440–1445.
13. Chan J.Y.K., Bauer C.F. Effect of peer-led team learning (PLTL) on student achievement, attitude, and self-concept in college general chemistry in randomized and quasi experimental designs // Journal of Research in Science Teaching. 2015. Vol. 52. № 3. P. 319–346.
14. Attitude to the Study of Chemistry and Its Relationship with Achievement in an Introductory Undergraduate Course / S.J. Brown [et al.] // Journal of the Scholarship of Teaching and Learning. 2015. Vol. 15. № 2. P. 33–41.

15. Diagnosing changes in attitude in first-year college chemistry students with a shortened version of Bauer's semantic differential / A.R. Brandriet [et al.] // *Chemistry Education Research and Practice*. 2011. Vol. 12. № 2. P. 271–278.

16. Свидзинская Г.Б., Трофимец Е.Н. Использование метода семантического дифференциала для анализа отношения курсантов, студентов и слушателей ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России» к химическим дисциплинам // Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2018. С. 189–194.

17. Баскин Ю.Г., Свидзинская Г.Б., Свидзинская А.С. Изучение отношения учащихся вузов МЧС России к предмету «Химия» с использованием метода семантического дифференциала // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 4. С. 155–162.

18. Свидзинская Г.Б. О гендерных различиях в отношении к изучаемым предметам на примере дисциплин химического цикла // Актуальные вопросы естествознания: сб. материалов IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Иваново: Ивановская пож.-спасат. акад. ГПС МЧС России, 2019. С. 309–316.

19. Антипина Н.Л. О некоторых особенностях мотивации студентов // Вузовская наука: теоретико-методологические проблемы подготовки специалистов в области экономики, менеджмента и права: сб. материалов междунар. науч. семинара. Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. Вып. 11. С. 3–9.

20. Savage N., Birch R., Noussi E. Motivation of engineering students in higher education // *Engineering education*. 2011. Vol. 6. № 2. P. 39–46.

## References

1. Pustovalova E.I., Lozhkarev A.I., Barakovskih M.V. Vybora professii riska: gendernyj aspekt // *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya*. 2016. № 51-4. S. 320–326.

2. Nikitina S.A. Vospitanie devushek-kursantov v sisteme voennogo obrazovaniya // *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta*. Ser.: Pedagogika. Psihologiya. Sociokinetika. 2016. T. 22. S. 160–163.

3. Motivation of university authorities aimed at creating favorable learning environment in the course of restructuring higher education institutions / M.V. Vinichenko [et al.] // *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2018. Vol. 14. № 5. P. 1899–1910.

4. Karamyhova O.V., Kosheleva A.O., Egorushkina T.D. Formirovanie gendernoj kompetentnosti u kursantov zhenskogo pola v processe obucheniya v voennom vuze // *Psihologiya obrazovaniya v polikul'turnom prostranstve*. 2016. № 1. S. 113–118.

5. Nikolaeva A.A. Pedagogicheskaya tekhnologiya uskoreniya adaptacii kursantov zhenskogo pola obrazovatel'nyh organizacij vysshego obrazovaniya MVD Rossii na nachal'nom etape obucheniya: dis. ... kand. ped. nauk. SPb., 2021. 161 s.

6. Seryozhnikova R.K., Zagorodnev V.V. Podgotovka k professional'noj samorealizacii kak faktor social'noj aktivnosti kursantov v voennom vuze // *Socializaciya v global'nom mire: vyzovy sovremennosti: sb. materialov mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* Kaluga, 2021. S. 85–95.

7. Baskin Yu.G., Svidzinskaya G.B. Prioritetnye napravleniya psihologo-pedagogicheskikh issledovanij v vuzah MCHS Rossii. Semanticheskij differencial kak osnovnoj metod diagnostiki: monografiya. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2020. 168 s.

8. Svidzinskaya G.B., Baskin Y.G., Mezentseva M.E. Using the Semantic Differential Method to assess the learning motivation and attitude of first-year students' towards chemistry in University of Emercom of Russia // *International Journal of Education and Practice*. 2019. Vol. 7. № 2. P. 88–100.

9. Baskin Yu.G., Svidzinskaya G.B. Opyt ispol'zovaniya metoda semanticheskogo differenciala v obrazovatel'nom processe // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2021. № 1. S. 158–165.

10. Chan J.Y., Bauer C.F. Learning and Studying Strategies used by General Chemistry Students with Different Affective Characteristics // *Chemistry Education Research and Practice*. 2016. Vol. 17. № 4. P. 675–684.
11. Xu X., Lewis J.E. Refinement of a chemistry attitude measure for college students // *Journal of Chemical Education*. 2011. Vol. 88. № 5. P. 561–568.
12. Bauer C.F. Attitude toward Chemistry: A semantic differential instrument for assessing curriculum impacts // *Journal of Chemical Education*. 2008. Vol. 85. № 10. P. 1440–1445.
13. Chan J.Y.K., Bauer C.F. Effect of peer-led team learning (PLTL) on student achievement, attitude, and self-concept in college general chemistry in randomized and quasi experimental designs // *Journal of Research in Science Teaching*. 2015. Vol. 52. № 3. P. 319–346.
14. Attitude to the Study of Chemistry and Its Relationship with Achievement in an Introductory Undergraduate Course / S.J. Brown [et al.] // *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*. 2015. Vol. 15. № 2. P. 33–41.
15. Diagnosing changes in attitude in first-year college chemistry students with a shortened version of Bauer's semantic differential / A.R. Brandriet [et al.] // *Chemistry Education Research and Practice*. 2011. Vol. 12. № 2. P. 271–278.
16. Svidzinskaya G.B., Trofimec E.N. Ispol'zovanie metoda semanticheskogo differenciala dlya analiza otnosheniya kursantov, studentov i slushatelej FGBOU VO «Sankt-Peterburgskij universitet GPS MCHS Rossii» k himicheskim disciplinam // *Podgotovka kadrov v sisteme preduprezhdeniya i likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij: sb. materialov mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2018. S. 189–194.*
17. Baskin YU.G., Svidzinskaya G.B., Svidzinskaya A.S. Izuchenie otnosheniya uchashchihsya vuzov MCHS Rossii k predmetu «Himiya» s ispol'zovaniem metoda semanticheskogo differenciala // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2017. № 4. S. 155–162.
18. Svidzinskaya G.B. O gendernyh razlichiyah v otnoshenii k izuchaemym predmetam na primere disciplin himicheskogo cikla // *Aktual'nye voprosy estestvoznaniya: sb. materialov IV Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. Ivanovo: Ivanovskaya pozh.-spasat. akad. GPS MCHS Rossii, 2019. S. 309–316.*
19. Antipina N.L. O nekotoryh osobennostyah motivacii studentov // *Vuzovskaya nauka: teoretiko-metodologicheskie problemy podgotovki specialistov v oblasti ekonomiki, menedzhmenta i prava: sb. materialov mezhdunar. nauch. seminara. Tyumen': TyumGNGU, 2013. Vyp. 11. S. 3–9.*
20. Savage N., Birch R., Noussi E. Motivation of engineering students in higher education // *Engineering education*. 2011. Vol. 6. № 2. P. 39–46.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 28.09.2022; одобрена после рецензирования: 17.10.2022; принята к публикации: 01.11.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 28.09.2022; approved after review: 17.10.2022; accepted for publication: 01.11.2022

*Сведения об авторах:*

**Баскин Юрий Григорьевич**, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, доктор педагогических наук, профессор, e-mail: [bask-01@mail.ru](mailto:bask-01@mail.ru), ORCID ID 0000-0003-4019-6805

**Свидзинская Галина Борисовна**, доцент кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат химических наук, доцент, e-mail: [gns2@mail.ru](mailto:gns2@mail.ru), ORCID ID 0000-0001-9535-217X

*Information about authors:*

**Baskin Yuri G.**, professor of the department of fire, rescue equipment and automotive industry of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), honored worker of the higher school of the Russian Federation, doctor of pedagogical sciences, professor, e-mail: [bask-01@mail.ru](mailto:bask-01@mail.ru), ORCID ID 0000-0003-4019-6805

**Svidzinskaya Galina B.**, associate professor of the department of physico-chemical foundations of gorenje processes and extinguishing of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of chemical sciences, associate professor, e-mail: [gns2@mail.ru](mailto:gns2@mail.ru), ORCID ID 0000-0001-9535-217X

Научная статья

УДК 614.253.83

## КОММУНИКАТИВНАЯ КОМПЕТЕНТНОСТЬ СТУДЕНТОВ ПОМОГАЮЩИХ ПРОФЕССИЙ В КОНТЕКСТЕ К ВОЛОНТЕРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Тхорик Наталья Сергеевна;

✉ Джига Надежда Дмитриевна.

Барановичский государственный университет, г. Барановичи, Республика Беларусь

✉ 555osipova@mail.ru

*Аннотация.* В статье определены понятия «волонтерская деятельность», «готовность к волонтерской деятельности», дана краткая структурно-содержательная характеристика социально-психологической готовности к волонтерской деятельности. Также представлены результаты выявления психологических особенностей и особенностей коммуникативной компетентности студентов помогающих профессий.

В современных социально-экономических условиях волонтерская деятельность представляет собой ресурс, позволяющий решить ряд проблем в медицинской, социальной, образовательной сферах. Волонтерство не предполагает извлечения материальных благ, карьерного роста, тем не менее волонтерская деятельность в полной мере удовлетворяет потребности личности в самореализации, самообразовании, профессиональном росте. Отметим, что эффективность волонтерской деятельности определяется готовностью субъекта деятельности к ее осуществлению, то есть предполагает наличие комплекса взаимосвязанных индивидуально-типологических характеристик личности, которые, в свою очередь, совершенствуются в этой деятельности.

*Ключевые слова:* волонтерская деятельность, социально-психологическая готовность к волонтерской деятельности, студенты помогающих профессий, коммуникативная компетентность, профессионально-важные свойства личности

**Для цитирования:** Тхорик Н.С., Джига Н.Д. Коммуникативная компетентность студентов помогающих профессий в контексте к волонтерской деятельности // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 121–127.

## COMMUNICATIVE COMPETENCE OF STUDENTS OF HELPING PROFESSIONS IN THE CONTEXT OF VOLUNTEER ACTIVITY

Thorik Natalia S.;

✉ Dzhiga Nadezhda D.

Baranovichi state university, Baranovichi, Republic of Belarus

✉ 555osipova@mail.ru

*Abstract.* The article defines the concepts of «volunteer activity», «readiness for volunteer activity», gives a brief structural and substantive characteristic of socio-psychological readiness for volunteer activity. The results of identifying psychological features and features of communicative competence of students of helping professions are also presented.

In modern socio-economic conditions, volunteer activity is a resource that allows solving a number of problems in the medical, social, and educational spheres. Volunteering does not involve the extraction of material benefits, career growth, nevertheless, volunteer activity fully

satisfies the needs of the individual in self-realization, self-education, professional growth. It should be noted that the effectiveness of volunteer activity is determined by the willingness of the subject of activity to implement it, that is, it assumes the presence of a complex of interrelated individual typological characteristics of the individual, which in turn are improved in this activity.

*Keywords:* volunteer activity, socio-psychological readiness for volunteer activity, students of helping professions, communicative competence, professionally important personality traits

**For citation:** Thorik N.S., Dzhiga N.D. Communicative competence of students of helping professions in the context of volunteer activity // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 4. P. 121–127.

## Введение

Эффективность волонтерской деятельности определяется готовностью субъекта деятельности к ее осуществлению, то есть предполагает наличие комплекса взаимосвязанных индивидуально-типологических характеристик личности, которые, в свою очередь, совершенствуются в этой деятельности. Отсюда включение студентов помогающих профессий в волонтерскую деятельность будет способствовать формированию мотивации, необходимых специальных и психологических знаний, комплекса профессионально-важных свойств личности, определенного уровня умений и навыков, необходимых при взаимодействии с людьми. В данном контексте коммуникативная компетентность, являясь профессионально-личностным качеством, которое позволяет устанавливать и поддерживать целенаправленный прямой и опосредованный контакты специалиста с объектом деятельности (в том числе волонтерской), эффективно строить процесс общения и при необходимости его корректировать, входит в состав готовности к волонтерской деятельности [1–9].

Очевидно, что проблема формирования коммуникативной компетентности будущих специалистов соответствует компетентностному подходу в современной системе образования (Г.А. Берулава, В.С. Безрукова, И.В. Дубровина, Э.Ф. Зеер, И.А. Зимняя, О.А. Зимовина, Т.М. Ковалева, И.Б. Котова, О.Е. Лебедев, Д.И. Фельдштейн, А.В. Хуторской, Н.В. Кузьмина, Н.Д. Джига и др.) [8–10, с. 206–212].

## Материалы и методы исследования

Теоретический анализ имеющихся исследований (Л.А. Цветкова, И.С. Сук, С.Л. Соловьева, Н.В. Яковлева и др.) позволяет различать следующие структурные компоненты коммуникативной компетентности: когнитивный, мотивационный, аффективный, поведенческий, личностный. Так, потребности в установлении позитивной коммуникации, мотивы развития компетентности определяют содержание мотивационного компонента. Когнитивный компонент включает социальное восприятие, воображение, рассуждения, способности, межличностные отношения и психологические компетенции. Эмоциональный компонент включает симпатию к себе и партнеру, эмпатию и умение успешного общения. Поведенческий компонент способствует межличностному взаимодействию и контролю за своей коммуникацией. Личностный компонент коммуникативной компетентности включает определенные свойства личности, необходимые для взаимодействия с окружением и высокий коммуникативный контроль [11, 12].

Цель исследования – выявление психологических особенностей и особенностей коммуникативной компетентности у студентов помогающих профессий. Исследование проводилось на базе учреждения образования «Барановичский государственный университет». В эксперименте приняли участие студенты помогающих профессий 1–4 курсов, обучающиеся на факультете педагогики и психологии по следующим специальностям: «Начальное образование», «Дошкольное образование», «Социальная

педагогика», «Практическая психология» (всего 150 человек: 40 юношей и 110 девушек в возрасте 18–21 лет). Все испытуемые были разделены на три группы в соответствии с получаемой специальностью: 1) будущие педагоги-психологи (специальность «Практическая психология»), N=50 человек; 2) будущие педагоги (специальности «Начальное образование», «Дошкольное образование»), N=50 человек; 3) будущие социальные педагоги (специальность «Социальная педагогика»), N=50 человек.

Исследование проводилось с помощью следующих методик: 16 PF – опросник Р. Кеттелла (отметим, что факторы, входящие в состав опросника, являются базовым уровнем коммуникативной компетентности и личностных качеств студентов помогающих профессий; анкета В.В. Болучевской [12]; методика диагностики оценки самоконтроля в общении М. Снайдера; тест коммуникативных умений Л. Михельсона; опросник коммуникативной толерантности В.В. Бойко. Надежности и достоверности результатов исследования способствовали теоретико-методологическая обоснованность научных предположений, общая логика исследования, количественно-качественный анализ результатов исследования, возможность экспериментальной проверки полученных данных.

### Результаты исследования и их обсуждение

По результатам многофакторного опросника Р. Кеттелла у испытуемых выявлены высокие показатели по факторам «О» (7,1) и «L» (7,0), что указывает на их склонность к повышенной тревожности, упрекам, недооценке своих способностей. При этом низких оценок (4,0 и менее стана) у испытуемых не наблюдается, значения остальных 14 факторов средне выражены или высокие. Наиболее выражена доминантность у будущих педагогов-психологов (6,5).

Средний показатель по фактору «Н» (робость – смелость) показывает хорошую стрессоустойчивость студентов помогающих профессий и способность легко находить решения нестандартных ситуаций.

Моральная устойчивость, педантичность испытуемых по фактору «G» «недобросовестность – высокая совестливость» (6,0) особенно выражена у будущих педагогов (5,9;  $p < 0,01$ ).

Отметим, что испытуемые помогающих профессий обладают организаторскими способностями и могут сдерживать свою эмоциональность и чувствительность (средний показатель фактора «Q3» «импульсивность – контроль желаний» – 5,9). Однако это меньше свойственно будущим педагогом-психологам (5,3;  $p < 0,02$ ).

Высокие результаты по фактору («F») «сдержанность – экспрессивность» (среднее значение – 5,8) свидетельствуют о значимости для испытуемых взаимодействия с людьми, что наиболее выражено у будущих педагогов-психологов (5,9) и социальных педагогов (6,4;  $p < 0,01$ ).

По факторам «C» («эмоциональная неустойчивость – эмоциональная устойчивость» – 5,5) и «I» («жесткость – чувствительность») – (5,4) средние значения показателей позволяет сделать вывод о том, что студенты помогающих профессий эмоционально зрелые, выдержанные, реалистически настроенные, но быстро устают («C»). По фактору «I» будущие педагоги-психологи (6,4) более склонны к эмпатии, чем будущие педагоги (5,2;  $p < 0,01$ ) и социальные педагоги (5,5;  $p < 0,01$ ).

Ряд факторов в общем распределении имеет средние показатели: «Q1» (4,8), «Q2» (5,0), «Q4» (4,8), «B» (4,7). Отметим, что фактор «B» является показателем интеллекта испытуемых и позволяет говорить о среднем уровне интеллектуального развития и обучаемости студентов помогающих профессий, а также об их склонности не только к абстрактному и логическому мышлению, но и интуитивно обоснованным решениям. Значимых различий между специальностями не было выявлено.

Значения фактора «консерватизм – радикализм» («Q1») показывают, что будущие социальные педагоги (4,9) и педагоги-психологи (5,4) более радикальны, чем будущие педагоги (4,2;  $p < 0,01$ ). Для первых характерно критическое мышление, стремление познавать новое, учитывать имеющиеся аргументы и факты. Будущие педагоги консервативны, не любят перемен, обладают устоявшимися мнениями, склонны к преувеличениям, морализации, наставлениям.

Студенты помогающих профессий нуждаются в одобрении других, в работе предпочитают разделять ответственность с другими людьми (шкала «Q3» «социальность – независимость»). По фактору «Q4 напряженность – расслабленность» наблюдаются средние показатели, свидетельствующие об удовлетворительном состоянии испытуемых на момент опроса.

Анкета В.В. Болучевской применялась с целью выявления у студентов помогающих профессий мотивационного компонента коммуникативной компетентности. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что у студентов помогающих профессий доминирующими являются мотивы, позволяющие удовлетворить материальные потребности и потребности в признании, самовыражении.

Выявленные результаты по методике «Тест на оценку самоконтроля в общении» (М. Снайдер) показывают, что, по мнению испытуемых, большинство из них имеет средний коммуникативный контроль (52 % испытуемых), что указывает на их искренность, импульсивность, способность контролировать собственное поведение, умение создавать у окружающих желаемое впечатление о себе.

Многие студенты помогающих профессий предполагают, что их коммуникация и контроль за ней находится на низком уровне (32 % испытуемых). Они не могут изменять себя, в общении открыты, прямолинейны. 16 % испытуемых указывает на их способность легко входить в любую роль, быстро реагировать на изменение ситуации, прогнозировать ее исход.

По результатам исследования низкий стиль агрессивности в общении (16 % испытуемых), что указывает на склонность студентов помогающих профессий избегать категоричности суждений, конфликтные ситуации, подавляя в себе раздражение, негативные эмоции.

Для обработки результатов исследования по методике диагностики общей коммуникативной толерантности (В.В. Бойко) были определены среднеарифметические показатели по каждой шкале. Наиболее высокие показатели выявлены по субшкалам: «категоричность или консерватизм в оценках других людей» (7,16), «неумение скрывать или сглаживать неприятные чувства при столкновении с некоммуникабельными качествами партнеров» (8,24), «неумение прощать другим ошибки, неловкость, непреднамеренно причиненные вам неприятности» (7,68).

Для определения взаимосвязи индивидуально-личностных особенностей студентов помогающих профессий и коммуникативного контроля был использован R-критерий Спирмена. Вычисление коэффициента корреляции Спирмена показало наличие статистически значимых прямых взаимосвязей между показателем коммуникативного контроля по методике М. Снайдера и такими личностными чертами 16 факторного опросник Р. Кеттелла, как «замкнутость – общительность» ( $R=0,2$ ,  $p=0,01$ ), «эмоциональная нестабильность – эмоциональная стабильность» ( $R=0,26$ ,  $p=0,001$ ), «подчиненность – доминантность» ( $R=0,41$ ,  $p=0,000$ ), «сдержанность – экспрессивность» ( $R=0,19$ ,  $p=0,02$ ) и «низкая нормативность поведения – высокая нормативность поведения» ( $R=0,18$ ,  $p=0,02$ ). Следовательно, можно говорить о том, что факторы А, С, Е, F, G, соответственно, при своей выраженности у студентов помогающих профессий соответствуют высокому уровню коммуникативного контроля в общении.

Вычисление коэффициента корреляции Спирмена между шкалами методик «Диагностика общей коммуникативной толерантности» (В.В. Бойко) и шкалами

16 факторного опросника Р. Кеттелла показало наличие статистически значимых обратных взаимосвязей между шкалой: «категоричность или консерватизм в оценках других людей» и шкалами: «консерватизм – радикализм» («Q1») ( $R=-0,30$ ,  $p=0,00$ ), «прямолинейность – дипломатичность» («N») ( $R=-0,31$ ,  $p=0,00$ ). Исходя из этих показателей, видно, что выраженность черты категоричности, консерватизма в оценках других людей понижает проявление радикализма, дипломатичности в общении. В свою очередь, неумение прощать другим ошибки, неловкость, непреднамеренно причиненные неприятности соответствует выраженной эмоциональной неустойчивости (фактор «C»), а также повышенной жесткости (фактор «I») и импульсивности (фактор «Q3»).

При вычислении коэффициента корреляции Спирмена между шкалами теста коммуникативных умений Л. Михельсона и 16 факторного опросника Р. Кеттелла были выявлены статистически значимые прямые взаимосвязи между шкалой компетентного стиля общения и шкалами: «консерватизм – радикализм» («Q1») ( $R=0,21$ ,  $p=0,01$ ), «эмоциональная неустойчивость – эмоциональная устойчивость» («C») ( $R=0,17$ ,  $p=0,03$ ), «прямолинейность – дипломатичность» («N») ( $R=0,31$ ,  $p=0,00$ ). Данные взаимосвязи указывают, что выраженность показателя компетентного стиля общения характерна для студентов помогающих профессий с высоким уровнем радикализма, эмоциональной устойчивости, дипломатичности. Шкала зависимого стиля общения имеет две статистически значимых взаимосвязи: одну прямую с показателем «импульсивность – контроль желаний» («Q3») ( $R=0,20$ ,  $p=0,01$ ) и одну обратную с показателем «робость – смелость» («H») ( $R=-0,16$ ,  $p=0,04$ ). Когда выражен зависимый стиль общения, тогда наблюдаем у студентов помогающих профессий проявления контроля желаний и робости в принятии решений.

### Заключение

Анализируя результаты проведенных диагностик, авторы пришли к выводу, что методические рекомендации по развитию коммуникативной компетентности у студентов помогающих профессий должны способствовать проведению групповой работы, направленной на выявленные особенности: развитие способности к рефлексии, формирование адекватной самооценки и навыков психической саморегуляции. Основные задачи групповой работы: развитие коммуникативных навыков у студентов помогающих профессий; развитие навыков эффективного общения и поведения в конфликтных ситуациях, что обеспечит основу для дальнейшего развития коммуникативной компетентности и будет способствовать формированию готовности студентов помогающих профессий к волонтерской деятельности.

### Список источников

1. Тхорик Н.С. Социально-психологические характеристики студентов-волонтеров // Научные труды Республиканского института высшей школы. Исторические и психолого-педагогические науки: сб. науч. статей / под ред. Н.В. Боярова. Минск: РИВШ, 2015. С. 198–205.
2. Тхорик Н.С. Типы отношения к смерти у студентов-волонтеров // Специалист XXI века: психолого-педагогическая культура и профессиональная компетентность: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. Барановичи: РИО БарГУ, 2015. С. 54–57.
3. Тхорик Н.С. Социальные установки к неизлечимо больным у студентов-волонтеров // Научные труды Республиканского института высшей школы. Исторические и психолого-педагогические науки: сб. науч. статей / под ред. Н.В. Боярова. Минск: РИВШ, 2016. С. 244–251.
4. Тхорик Н.С. Эмпатия как критерий психологической культуры студентов-волонтеров // Актуальные проблемы формирования психолого-педагогической культуры будущих специалистов: межвузовский сб. науч. статей с междунар. участием / под ред. Т.Е. Яценко. Барановичи: БарГУ, 2016. С. 257–268.

5. Тхорик Н.С. К вопросу о ценностных ориентациях у студентов-волонтеров // Научные труды Республиканского института высшей школы. Исторические и психолого-педагогические науки: сб. науч. статей / под ред. Н.В. Боярова. Минск: РИВШ, 2017. С. 240–249.

6. John Clegg. Education System in Great Britain, The USA and Russia. URL: <http://ru.referatus.com.ua/yazykoznanie/education-system-in-great-britain-the-usa-and-russ/> (дата обращения: 23.10.2022).

7. Hawley W., Vallis L. The Essentials of Effectiv Professional Development'Un L. Darlmg-Hammond et al. (eds.), Teaching as the Learning Profession. San Francisco: Jossey-Bass Publishers, 1999.

8. Грачев Ю.А. Понятие готовности к деятельности в системе современного психолого-педагогического знания // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2011. № 4 (52).

9. Шагурова А.А. Социально-психологическая готовность молодёжи к волонтерской деятельности: дис. ... канд. психол. наук. М., 2013. 157 с.

10. Джига Н.Д. Акме-психология созидания продуктивного субъекта образования: монография / под науч. ред. Н.П. Фетискина. Гродно: ГрГУ, 2015. С. 206–219.

11. Бакулина И.А. Проблема коммуникативных умений учителя // Педагогические технологии. 2008. № 2. С. 19–20.

12. Болучевская В.В. Профессиональное самоопределение будущих специалистов помогающих профессий: монография. Волгоград: Изд-во ВолГМУ, 2010. 264 с.

## References

1. Thorik N.S. Social'no-psihologicheskie harakteristiki studentov-volonterov // Nauchnye trudy Respublikanskogo instituta vysshej shkoly. Istoricheskie i psihologo-pedagogicheskie nauki: sb. nauch. statej / pod red. N.V. Boyarova. Minsk: RIVSH, 2015. S. 198–205.

2. Thorik N.S. Tipy otnosheniya k smerti u studentov-volonterov // Specialist XXI veka: psihologo-pedagogicheskaya kul'tura i professional'naya kompetentnost': materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Baranovichi: RIO BarGU, 2015. S. 54–57.

3. Thorik N.S. Social'nye ustanovki k neizlechimo bol'nym u studentov-volonterov // Nauchnye trudy Respublikanskogo instituta vysshej shkoly. Istoricheskie i psihologo-pedagogicheskie nauki: sb. nauch. statej / pod red. N.V. Boyarova. Minsk: RIVSH, 2016. S. 244–251.

4. Thorik N.S. Empatiya kak kriterij psihologicheskoy kul'tury studentov-volonterov // Aktual'nye problemy formirovaniya psihologo-pedagogicheskoy kul'tury budushchih specialistov: mezhvuzovskij sb. nauch. statej s mezhdunar. uchastiem / pod red. T.E. Yacenko. Baranovichi: BarGU, 2016. S. 257–268.

5. Thorik N.S. K voprosu o cennostnyh orientacijah u studentov-volonterov // Nauchnye trudy Respublikanskogo instituta vysshej shkoly. Istoricheskie i psihologo-pedagogicheskie nauki: sb. nauch. statej / pod red. N.V. Boyarova. Minsk: RIVSH, 2017. S. 240–249.

6. John Clegg. Education System in Great Britain, The USA and Russia. URL: <http://ru.referatus.com.ua/yazykoznanie/education-system-in-great-britain-the-usa-and-russ/> (data obrashcheniya: 23.10.2022).

7. Hawley W., Vallis L. The Essentials of Effectiv Professional Development'Un L. Darlmg-Hammond et al. (eds.), Teaching as the Learning Profession. San Francisco: Jossey-Bass Publishers, 1999.

8. Grachev Yu.A. Ponyatie gotovnosti k deyatel'nosti v sisteme sovremennogo psihologo-pedagogicheskogo znaniya // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta MVD Rossii. 2011. № 4 (52).

9. Shagurova A.A. Social'no-psihologicheskaya gotovnost' molodyozhi k volontyorskoy deyatel'nosti: dis. ... kand. psihol. nauk. M., 2013. 157 s.

10. Dzhiga N.D. Akme-psihologiya sozidaniya produktivnogo sub"ekta obrazovaniya: monografiya / pod nauch. red. N.P. Fetiskina. Grodno: GrGU, 2015. S. 206–219.

11. Bakulina I.A. Problema komunikativnyh umenij uchitelya // Pedagogicheskie tekhnologii. 2008. № 2. S. 19–20.
12. Boluchevskaya V.V. Professional'noe samoopredelenie budushchih specialistov pomagayushchih professij: monografiya. Volgograd: Izd-vo VolGMU, 2010. 264 s.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 21.10.2022; одобрена после рецензирования: 23.10.2022; принята к публикации: 31.10.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 21.10.2022; approved after review: 23.10.2022; accepted for publication: 31.10.2022

*Информация об авторах:*

**Тхорик Наталья Сергеевна**, старший преподаватель института повышения квалификации и переподготовки Барановичского государственного университета (225404, Республика Беларусь, Брестская обл., г. Барановичи, ул. Войкова, д. 21), магистр педагогических наук, исследователь в области психологических наук, аспирант Белорусского государственного университета кафедры возрастной и педагогической психологии, e-mail: natalya-trockaya@mail.ru

**Джига Надежда Дмитриевна**, профессор кафедры психология и физического воспитания Барановичского государственного университета (225404, Республика Беларусь, Брестская обл., г. Барановичи, ул. Войкова, д. 21), доктор психологических наук, профессор, e-mail: 555osipova@mail.ru

*Information about authors:*

**Thorik Natalia S.**, senior lecturer at the institute of advanced training and retraining of Baranovichi state university (225404, Republic of Belarus, Brest region, Baranovichi, Voikova str., 21), master of pedagogical sciences, researcher in the field of psychological sciences, postgraduate student of the belarusian state university of the department of age and pedagogical psychology, e-mail: natalya-tracevskaya@mail.ru

**Dzhiga Nadezhda D.**, professor of the department of psychology and physical education Baranovichi state university (225404, Republic of Belarus, Brest region, Baranovichi, Voikova str., 21), doctor of psychology, professor, e-mail: 555osipova@mail.ru

---

---

## ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

---

---

Научная статья

УДК 007.3

### **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СИЛАМИ И СРЕДСТВАМИ МЧС РОССИИ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

✉ Панкратова Мария Валентиновна.

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

✉ [r.masha-oskol@mail.ru](mailto:r.masha-oskol@mail.ru)

*Аннотация.* Арктическая зона Российской Федерации является быстро развивающимся регионом России с большим объёмом полезных ископаемых. Только в российском арктическом шельфе находится примерно 100 млрд т нефтяного эквивалента. В связи с этим растёт и количество объектов нефтяной промышленности, а как следствие и количество аварий, связанных с разливами нефти и нефтепродуктов. Из-за изменения климата в Арктической зоне увеличивается риск возникновения аварийных ситуаций, что может повлечь за собой серьёзные экологические последствия. Поэтому актуальной задачей является своевременное реагирование и ликвидация чрезвычайных ситуаций, связанных с разливами нефти и нефтепродуктов. Предлагается использовать новый метод ликвидации разливов путем применения его силами и средствами Арктических комплексных аварийно-спасательных центров МЧС России при реагировании на аварии, что позволит повысить эффективность ликвидации разливов нефти и минимизировать ущерб. Для формализации процесса ликвидации была разработана функциональная модель управления силами и средствами МЧС России при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в Арктической зоне Российской Федерации на основе методологии IDEF0.

*Ключевые слова:* чрезвычайные ситуации, разлив нефти и нефтепродуктов, ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов, Арктическая зона Российской Федерации, силы и средства МЧС России, реагирование

**Для цитирования:** Панкратова М.В. Функциональная модель управления силами и средствами МЧС России при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в Арктической зоне Российской Федерации // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 128–135.

### **FUNCTIONAL MODEL OF MANAGEMENT OF THE FORCES AND MEANS OF EMERCOM OF RUSSIA DURING THE LIQUIDATION OF OIL AND PETROLEUM PRODUCT SPILLS IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION**

✉ Pankratova Maria V.

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

✉ [r.masha-oskol@mail.ru](mailto:r.masha-oskol@mail.ru)

*Abstract.* The Arctic zone of the Russian Federation is a rapidly developing region of Russia with a large volume of minerals. There are approximately 100 billion tons of oil equivalent

in the Russian Arctic shelf alone. In this regard, the number of objects of the oil industry is also growing, and as a result, the number of accidents associated with oil spills and petroleum products. Unfortunately, due to climate change in the Arctic zone, the risk of accidents, increases, which can lead to serious environmental consequences. Therefore, your task is timely response and elimination of emergencies related to oil and petroleum product spills. It is proposed to use a new method of spill response by applying it by the forces and means of the Arctic integrated emergency rescue centers of EMERCOM of Russia in responding to accidents, which will increase the efficiency of oil spill response and minimize damage. To formalize the liquidation process, a functional model for managing the forces and means of EMERCOM of Russia during the liquidation of oil and petroleum products spills in the Arctic zone of the Russian Federation was developed based on the IDEF0 methodology.

*Keywords:* emergencies, oil and oil products spill, oil and oil products spill response, Arctic zone of the Russian Federation, forces and means of EMERCOM of Russia, response

**For citation:** Pankratova M.V. Functional model of management of forces and means of EMERCOM of Russia during the liquidation of oil and petroleum product spills in the Arctic zone of the Russian Federation // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 4. P. 128–135.

## Введение

Из-за быстрого развития нефтяной промышленности в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) увеличивается риск возникновения техногенных аварий, которые могут привести к разливам нефти и нефтепродуктов, а климатические условия данной зоны (отсутствие естественного освещения, предельно низкие температуры, дрейф льда, сильные ветры и плохая видимость) еще больше увеличивают его и затрудняют реагирование на чрезвычайные ситуации (ЧС) и ликвидацию их последствий.

Для решения вышеперечисленных проблем разработаны системы предотвращения разливов нефти и нефтепродуктов, а также планы по ликвидации последствий аварий в ходе осуществления деятельности в арктических районах [1]. Большое внимание уделяется задаче повышения эффективности реагирования на разливы нефти и нефтепродуктов в арктических условиях.

Одной из последних ЧС, связанных с разливом нефти, является утечка дизельного топлива в г. Норильске (рис. 1), которая произошла 29 мая 2020 г. при разгерметизации бака с дизельным топливом на ТЭЦ-3. Это одна из крупнейших утечек нефтепродуктов в АЗРФ в истории, создающая угрозу для экосистемы Северного Ледовитого океана. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования оценила ущерб окружающей среде почти в 148 млрд руб. В ходе проведенного анализа последствий возникшей близ г. Норильск ЧС установлено, что наиболее трудноликвидируемым видом последствия является наличие тысяч тонн загрязненного нефтегрунта и отсутствие подготовленного места для его временного складирования и создания условий для эффективной биологической очистки биосорбентами или химической деструкции диспергентами.

Зачастую ликвидация разливов нефти в АЗРФ существующими методами и технологиями может быть осложнена или невозможна из-за суровых природных условий, что, в свою очередь, будет нести большие затраты на устранение последствий и вред экологической системе [2, 3]. Для эффективного проведения операций по ликвидации разливов нефти необходимо использование современного оборудования и подготовленного персонала. Удаленное местонахождение и отсутствие инфраструктуры может в значительной степени осложнять работу систем реагирования. Суммарное влияние этих сдерживающих факторов может сделать проведение мер по ликвидации нефтяных разливов почти невозможным на протяжении длительных периодов времени в арктических и субарктических областях [4].

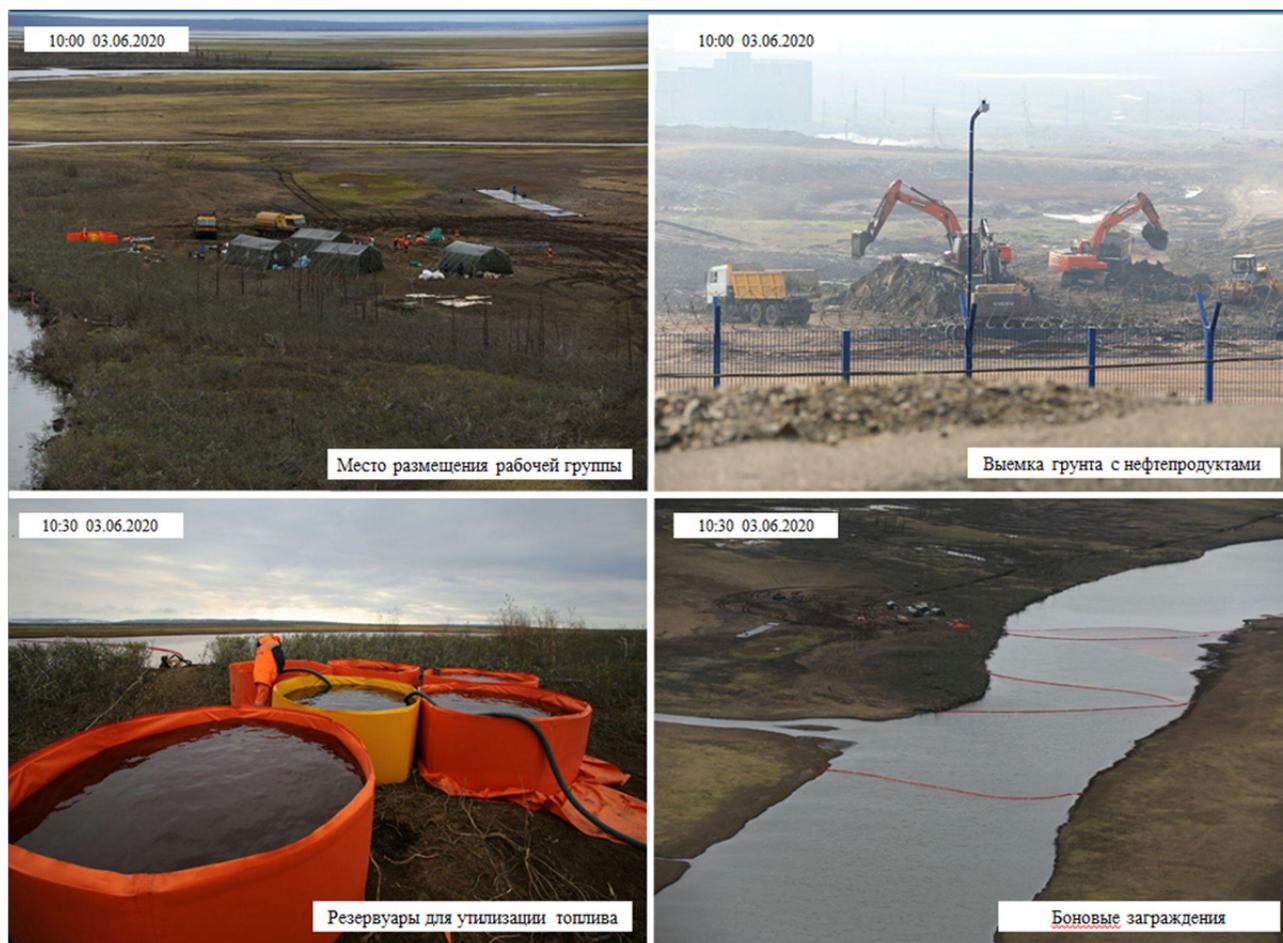


Рис. 1. Фотоматериалы ликвидации последствий разлива дизельного топлива в г. Норильске

На современном этапе развития региона исключительную важность представляет работа МЧС России по созданию комплексной системы безопасности в АЗРФ [5]. На сегодняшний день созданы и функционируют шесть Арктических комплексных аварийно-спасательных центров МЧС России (АКАСЦ МЧС России) в городах Архангельск, Мурманск, Воркута, Нарьян-Мар, Дудинка, Якутск. МЧС России запланировано создание на трассе Северного морского пути десяти комплексных аварийно-спасательных центров и отрядов, которые планируется оснастить пожарно-спасательным спецоборудованием для работы в арктических условиях, вертолетами со специально подготовленными экипажами, судами, катерами и вездеходами [6, 7].

Эффективность функционирования АКАСЦ МЧС России во многом зависит от своевременного реагирования подразделений на ЧС, существующего оборудования и результативных способов ликвидации разливов нефти в АЗРФ.

В условиях существования широкого спектра рисков возникновения разливов нефти весьма актуальной задачей является создание системы оперативного реагирования силами и средствами МЧС России на разливы нефти и нефтепродуктов. Важной составляющей системы является создание функциональной модели управления силами и средствами МЧС России при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в АЗРФ.

### Теоретические основы и методы исследования

При разработке функциональной модели управления силами и средствами МЧС России при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в АЗРФ использовалась методология IDEF0.

Модель представляет собой набор блоков с существующими связями, которые декомпозируются до необходимого разработчику уровня, что позволяет наглядно изобразить

интересующий процесс, в данном случае ликвидацию разлива нефти/нефтепродуктов. Отличительной особенностью IDEF0 является ее акцент на соподчиненность объектов.

С целью повышения эффективности и времени реагирования на разливы нефти и нефтепродуктов был предложен метод ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов силами и средствами МЧС России [8, 9]. Сущность предлагаемого метода состоит в том, что рекомендуется на территории объектов нефтяной промышленности создать бетонированный резервуар для складирования загрязненного нефтью грунта. Аварийные работы, а именно сбор нефтегрунта, транспортировка его в резервуар и послойное нанесение сорбента предлагается осуществлять АКАСЦ МЧС России. Также в качестве распылительного оборудования предлагается использовать многоствольные модули, которые позволяют с большей дальностью распылять сорбент на загрязненный грунт [10].

### Результаты исследования и их обсуждение

Разработка функциональной модели управления силами и средствами МЧС России при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в АЗРФ начинается с представления простейшей компоненты (блок А0), представленной на рис. 2.

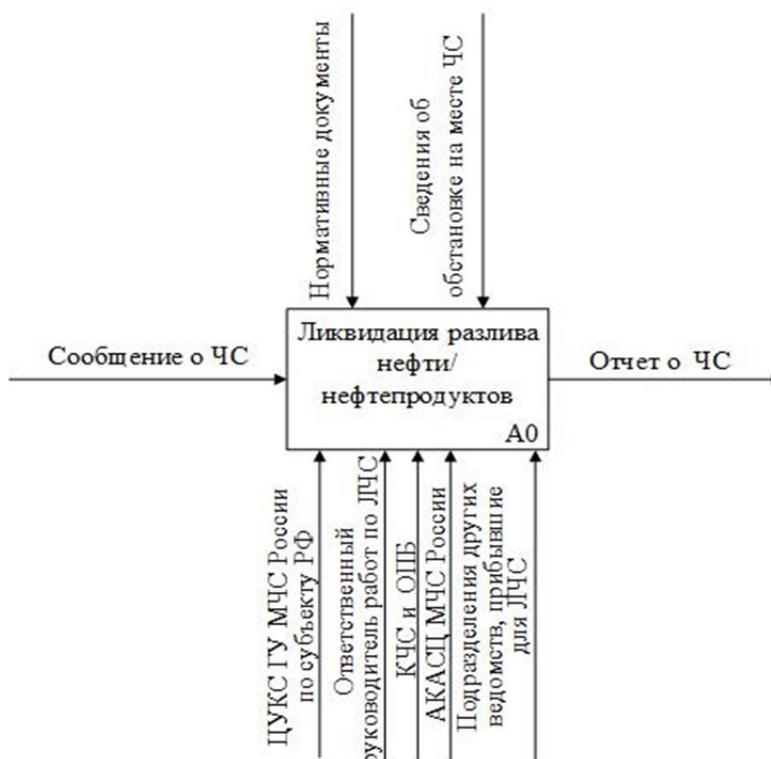


Рис. 2. Контекстная диаграмма модели управления силами и средствами МЧС России при ликвидации разливов нефти нефтепродуктов в АЗРФ (А0): (ЛЧС – ликвидация ЧС; ЦУКС ГУ МЧС России – Центр управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России; КЧС – комиссия по ЧС; ОПБ – отдел пожарной безопасности)

Основной функцией является ликвидация разлива нефти/нефтепродуктов. В качестве исходной информации, на основе которой осуществляется ликвидация ЧС, используется сообщение о ЧС, которое может содержать: место, время, данные о количестве пострадавших до начала реагирования на ЧС, погодные условия и т.д.

В большинстве случаев данная информация поступает от единой диспетчерской службы муниципального образования в ЦУКС ГУ МЧС России субъекта Российской Федерации. Полученная информация используется оперативными дежурными смены для

анализа происшествия, расчета сил и средств, их дальнейшей координации при реагировании на ЧС. Выходными данными служит отчет о ЧС, который содержит в себе обобщенную информацию о ЧС, силах и средствах, а также сведения об ущербе и расходах, затраченных на ее ликвидацию. При выработке управленческих решений учитывается информация о силах и средствах аварийных служб, подразделений МЧС России и других ведомств, которые будут задействованы в ликвидации разлива нефти/нефтепродуктов. Для детального рассмотрения функции необходимо произвести декомпозицию основного блока А0. Функциональная модель следующего уровня представлена на рис. 3.

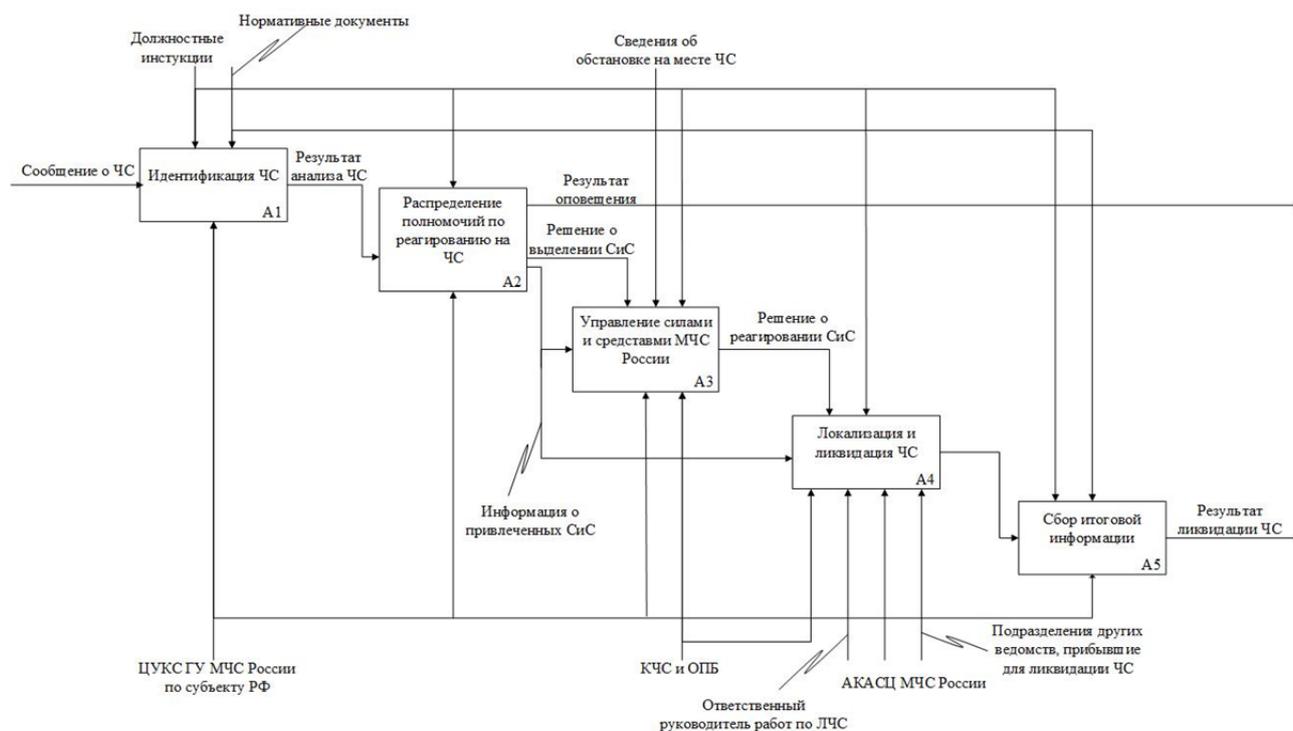


Рис. 3. Декомпозиция контекстной диаграммы функциональной модели управления силами и средствами МЧС России при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в АЗРФ в шахте А0: (СлС – силы и средства)

Диаграмма, изображенная на рис. 3, содержит пять блоков: идентификация ЧС (А1), распределение полномочий по реагированию на ЧС (А2), управление силами и средствами МЧС России (А3), локализация и ликвидация ЧС (А4), сбор итоговой информации (А5).

На этапе А1 происходит анализ ЧС, определение ее характера, масштабов, количества пострадавших, а также разработка сценариев развития ЧС и выработка рекомендаций по управлению рисками.

Блок А2 включает в себя расчет СлС ликвидации ЧС и дальнейшее их привлечение, а также оповещение населения, должностных лиц и местных органов исполнительной власти.

На этапе А3 осуществляется сбор информации о текущей обстановке на месте ЧС, при необходимости происходит повышение уровня реагирования и наращивание СлС для ликвидации ЧС.

Самый важный блок А4 включает в себя локализацию и ликвидацию разлива нефти/нефтепродуктов, декомпозиция блока представлена на рис. 4.

Этап А5 заключается в сборе итоговой информации, содержащей результаты работы: обобщение данных о ЧС, идентификация выполненных мероприятий по локализации и ликвидации ЧС, характеристика СлС, привлеченных для реагирования на происшествие, расчет ущерба и расходов, потраченных на ликвидацию аварии.

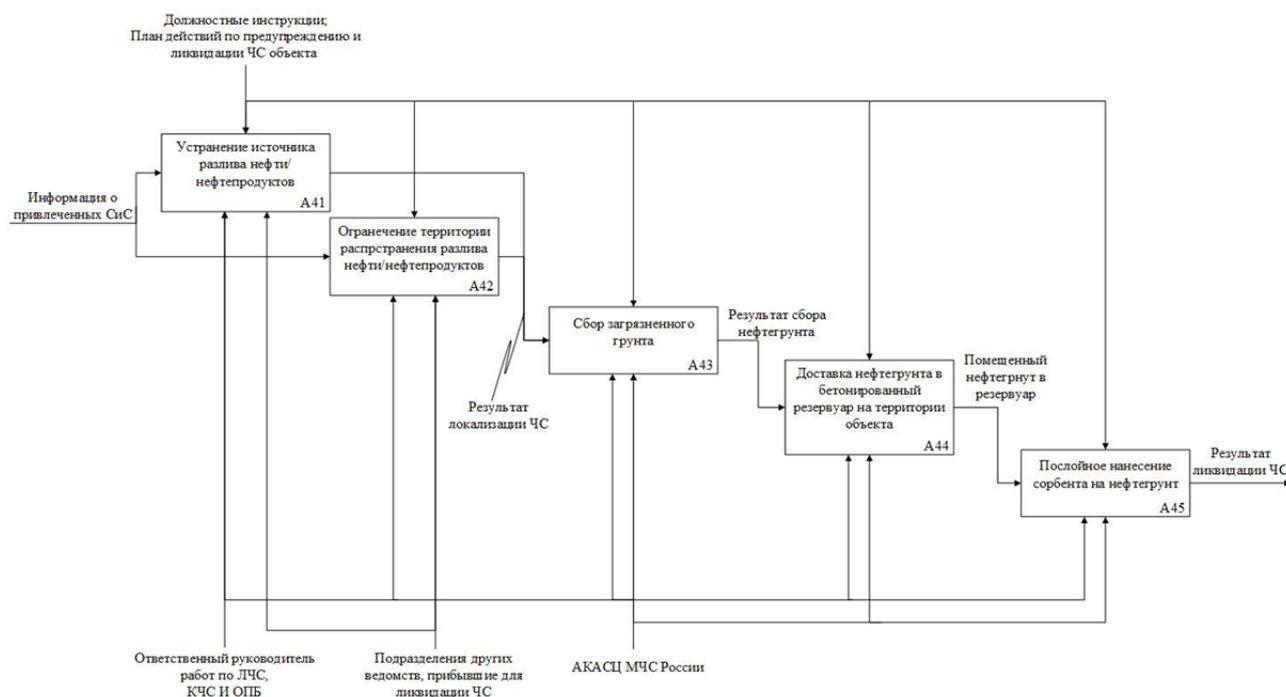


Рис. 4. Декомпозиция блока А4 функциональной модели управления силами и средствами МЧС России при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в АЗРФ

Как можно увидеть на диаграмме, локализация делится на два этапа: устранение источника разлива нефти/нефтепродуктов и ограничение распространения разлива. Действия на этих этапах реализовываются подразделениями других ведомств, например сотрудниками объекта, на котором произошла ЧС или аварийно-спасательными формированиями, осуществляющими свою деятельность на договорной основе, они могут быть как штатными, так и не штатными. Ликвидация разлива происходит силами и средствами АКАСЦ МЧС России путем применения предложенного метода ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов [9]. Координация на всех этапах осуществляется комиссией по предупреждению ЧС и обеспечению пожарной безопасности и ответственным руководителем по ликвидации ЧС, который назначается данной комиссией.

### Заключение

Таким образом, предложен подход решения задач по реагированию СИС МЧС России на ликвидацию разливов нефти и нефтепродуктов в АЗРФ. Он отличается тем, что базируется на формализации описания модели соответствующей проблемы и применении ранее не использовавшегося метода ликвидации разливов нефти [9].

Реализация предлагаемой модели управления силами и средствами МЧС России при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в АЗРФ позволит решить ряд важных проблем, а именно повысить эффективность ликвидации аварии, время реагирования на ЧС, избежать больших масштабов разливов, а также предотвратить возможное вторичное загрязнение и минимизировать ущерб окружающей среде.

### Список источников

1. Артамонов В.С., Мусиенко Т.В. Геополитика Арктики: система управления рисками безопасности жизнедеятельности // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2016. № 2-2(14). С. 72–78. DOI: 10.37468/2307-1400-2016-2-2-72-78. EDN WCJGFZ.

2. Dickins D. Behavior of oil spills in ice and implications for arctic spill response // Society of Petroleum Engineers – Arctic Technology Conference 2011, Houston, TX. 2011. P. 779–793. DOI: 10.4043/22126-ms. EDN USGMOT.
3. Soussi A., Bersani C., Sacile R. Environmental Impacts of Oil Spills and Response Technologies // Advances in Environmental Research, 2021. P. 139–179. EDN TFNOHF.
4. Pradhan B., Pradhan C., Das M. Marine oil spills: Implications on response plan // EnvironmentAsia. 2021. Vol. 14. № 3. P. 13–22. DOI: 10.14456/ea.2021.19. EDN DYZCNR.
5. Матвеев А.В. Стратегическое планирование сил и средств МЧС России в Арктической зоне // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2017. № 4 (20). С. 32–42. DOI: 10.37468/2307-1400-2017-4-32-42. EDN NRZQFX.
6. Матвеев А.В. Математическое моделирование оптимизации структуры арктических комплексных аварийно-спасательных центров МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2016. № 4 (40). С. 105–111. EDN XRKBCB.
7. Кошлаба С.Н. Организация межведомственного взаимодействия при ликвидации аварийных разливов нефти // Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктике, включая вопросы аварийных разливов нефти: материалы Междунар. конф. Нарьян-Мар: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2015. С. 92–97. EDN QPAOGT.
8. Онов В.А., Панкратова М.В. Метод экологически чистой локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Научный и практический подходы к развитию и реализации технологий безопасности: сб. тезисов по материалам XVII Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2021. С. 45–46. EDN AXXFKK.
9. Онов В.А., Панкратова М.В. Метод локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов силами и средствами МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 2. С. 1–7. EDN DBFPQQ.
10. Захматов В.Д., Панкратова М.В. Стационарные системы для тушения разливов авиационного топлива вокруг аварийно приземлившегося самолёта // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 22–29. EDN JZYUEO.

## References

1. Artamonov V.S., Musienko T.V. Geopolitika Arktiki: sistema upravleniya riskami bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2016. № 2-2(14). S. 72–78. DOI: 10.37468/2307-1400-2016-2-2-72-78. EDN WCJGFZ.
2. Dickins D. Behavior of oil spills in ice and implications for arctic spill response // Society of Petroleum Engineers – Arctic Technology Conference 2011, Houston, TX. 2011. P. 779–793. DOI: 10.4043/22126-ms. EDN USGMOT.
3. Soussi A., Bersani C., Sacile R. Environmental Impacts of Oil Spills and Response Technologies // Advances in Environmental Research, 2021. P. 139–179. EDN TFNOHF.
4. Pradhan B., Pradhan C., Das M. Marine oil spills: Implications on response plan // EnvironmentAsia. 2021. Vol. 14. № 3. P. 13–22. DOI: 10.14456/ea.2021.19. EDN DYZCNR.
5. Matveev A.V. Strategicheskoe planirovanie sil i sredstv MCHS Rossii v Arkticheskoy zone // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2017. № 4 (20). S. 32–42. DOI: 10.37468/2307-1400-2017-4-32-42. EDN NRZQFX.
6. Matveev A.V. Matematicheskoe modelirovanie optimizacii struktury arkticheskikh kompleksnyh avarijno-spasatel'nyh centrov MCHS Rossii // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2016. № 4 (40). S. 105–111. EDN XRKBCB.
7. Koshlaba S.N. Organizaciya mezhvedomstvennogo vzaimodejstviya pri likvidacii avarijnyh razlivov nefiti // Problemy preduprezhdeniya i likvidacii chrezvychajnyh situacij v Arktike, vkluchaya voprosy avarijnyh razlivov nefiti: materialy Mezhdunar. konf. Nar'yan-Mar:

Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut po problemam grazhdanskoj oborony i chrezvychajnyh situacij MCHS Rossii, 2015. S. 92–97. EDN QPAOGT.

8. Onov V.A., Pankratova M.V. Metod ekologicheski chistoj lokalizacii i likvidacii razlivov nefti i nefteproduktov// Kompleksnye problemy tekhnosfernoj bezopasnosti. Nauchnyj i praktičeskij podhody k razvitiyu i realizacii tekhnologij bezopasnosti: sb. tezisov po materialam XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2021. S. 45–46. EDN AXXFKK.

9. Onov V.A., Pankratova M.V. Metod lokalizacii i likvidacii razlivov nefti i nefteproduktov silami i sredstvami MCHS Rossii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 2. S. 1–7. EDN DBFPQQ.

10. Zahmatov V.D., Pankratova M.V. Stacionarnye sistemy dlya tusheniya razlivov aviacionnogo topliva vokrug avarijno prizemlivshegosya samolyota // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 1. S. 22–29. EDN JZYUEO.

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 27.10.2022; одобрена после рецензирования: 27.10.2022; принята к публикации: 31.11.2022

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

The article was submitted to the editorial office: 27.10.2022; approved after review: 27.10.2022; accepted for publication: 31.11.2022

#### *Сведения об авторах:*

**Панкратова Мария Валентиновна**, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: r.masha-oskol@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4411-1867>

#### *Information about the authors:*

**Pankratova Maria V.**, adjunct of the faculty of training of highly qualified personnel of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: r.masha-oskol@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4411-1867>

**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»**

**№ 4 – 2022**

Редакторы  
И.В. Дмитриева,  
Л.В. Алексеева

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России  
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149