



СИБИРСКИЙ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫЙ ВЕСТНИК

научно-аналитический журнал

2.1.15. — Безопасность объектов строительства (тех. науки)

2.3.4. — Управление в организационных системах (тех. науки)

2.10.1. — Пожарная безопасность (тех. науки)

— Подготовка кадров, пропаганда и обучение населения в области безопасности жизнедеятельности

— Пожарная и промышленная безопасность. Безопасность в ЧС

№ 34

Рег. № ФС77-65282
от 12.04.2016 г.

2024

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Батуро Алексей Николаевич / Главный редактор /

кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Baturо Alexey Nikolaevich /Chief Editor/

Ph.D. of Engineering Sciences, Docent, Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia

Мартинович Николай Викторович / Заместитель главного редактора /

кандидат технических наук, ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Martinovich Nikolay Viktorovich /Deputy Chief Editor/

Ph.D. of Engineering Sciences, Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia

Безбородов Юрий Николаевич

доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа

Bezborodov Yuriy Nikolaevich

holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences, Full Professor, Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas

Голдобина Любовь Александровна

доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа

Goldobina Lyubov Alexandrovna

holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences, Full Professor, Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas

Доррер Георгий Алексеевич

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Сибирский университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева

Dorrer Georgiy Alexeyevich

holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences, Full Professor, Siberiane University of science and technology named after Academician M.F. Reshetnev

Калач Андрей Владимирович

доктор химических наук, профессор, ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИН России

Kalach Andrey Vladimirovich

holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Chemical Sciences, Full Professor, Voronezh Institute Federal Service for Execution of Punishment of Russia

Медведева Людмила Владимировна

доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Medvedeva Lyudmila Vladimirovna

holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Pedagogic Sciences, Full Professor, honored worker of higher school of Russian Federation, St. Petersburg University of Firefighting Service of EMERCOM of Russia

Пузач Сергей Викторович

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Академия государственной противопожарной службы МЧС России

Puzach Sergey Viktorovich

holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences, Full Professor, Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia

Рыбаков Анатолий Валерьевич

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Академия гражданской защиты МЧС России

Rybakov Anatoly Valerievich

holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences, Full Professor, Academy of Civil Protection of EMERCOM of Russia

Самошин Дмитрий Александрович

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Академия государственной противопожарной службы МЧС России

Samoshin Dmitry Alexandrovich

holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences, Full Professor, Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia

Ступина Алена Александровна

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Stupina Alena Alexandrovna

holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences, Full Professor, Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia

Шарапов Сергей Владимирович

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Sharapov Sergey Vladimirovich

holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences, Full Professor, St. Petersburg University of Firefighting Service of EMERCOM of Russia

Шкарупета Елена Витальевна

доктор экономических наук, профессор, ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет

Shkarupeta Elena Vitalievna

holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Economic Sciences, Full Professor, Voronezh State Technical University

Амельчугов Сергей Петрович

доктор технических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Amelchugov Sergei Petrovich

holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences, Senior Research Officer, Siberian Fire and Rescue Academy of Firefighting Service of EMERCOM of Russia

Бутузов Станислав Юрьевич

доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Академия государственной противопожарной службы МЧС России

Butuzov Stanislav Yurievich

holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences, Docent, Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia

Щербенко Ева Владиславовна

доктор экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Shcherbenko Eva Vladislavovna

holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Economic Sciences, Docent, Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia

Ничепорчук Валерий Васильевич

доктор технических наук, Институт вычислительного моделирования СО РАН

Nicheporchuk Valeriy Vasilyevich

holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences, Institute of Computing Modelling of the Russian Academy of Sciences

Захаров Игорь Анатольевич

кандидат технических наук, доцент, Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан

Zakharov Igor Anatolyevich

Ph.D. of Engineering Sciences, Docent, Academy of Civil Protection named after M. Gabdullin of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan.

Акулов Артём Юрьевич

кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России

Akulov Artyom Yuryevich

Ph.D. of Engineering Sciences, Docent, Ural Institute of Firefighting Service of EMERCOM of Russia

Елфимова Марина Владимировна

кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России

Elfimova Marina Vladimirovna

Ph.D. of Engineering Sciences, Docent, Ural Institute of Firefighting Service of EMERCOM of Russia

Казиев Махач Магомедович

кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Академия государственной противопожарной службы МЧС России

Kaziev Makhach Magomedovich

Ph.D. of Engineering Sciences, Docent, Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia

Мельник Антон Анатольевич

кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Melnik Anton Anatolevich

Ph.D. of Engineering Sciences, Docent, St. Petersburg University of Firefighting Service of EMERCOM of Russia

Минкин Андрей Николаевич

кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Minkin Andrey Nikolaevich

Ph.D. of Engineering Sciences, Docent, Siberian Fire and Rescue Academy of Firefighting Service of EMERCOM of Russia

Пожаркова Ирина Николаевна

кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Pozharkova Irina Nikolaevna

Ph.D. of Engineering Sciences, Docent, Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia

Ширинкин Павел Владимирович

кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Академия государственной противопожарной службы МЧС России

Shirinkin Pavel Vladimirovich

Ph.D. of Engineering Sciences, Docent, Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia

Шмырева Марианна Борисовна

кандидат экономических наук, ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Shmyreva Marianna Borisovna

Ph.D. of Economic Sciences, Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia

Шубкин Роман Геннадьевич

кандидат технических наук, ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Shubkin Roman Gennadievich

Ph.D. of Engineering Sciences, Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia

Юркин Глеб Юрьевич

кандидат физико-математических наук, ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Shubkin Roman Gennadievich

Ph.D. of Physics and mathematics Sciences, Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia

Лоран Николай Михайлович / выпускающий редактор /

кандидат технических наук, ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Loran Nikolay Mikhaylovich /Publication editor /

Ph.D. of Engineering Sciences, Siberian Fire and Rescue Academy of Firefighting Service of EMERCOM of Russia

Содержание

Управление в организационных системах (2.3.4. технические науки)

Современные тенденции изменения повторяемости гроз над Сибирью и смещение Северного магнитного полюса	9
<i>Холопцев А.В., Проскова Н.Ю., Шубкин Р.Г.</i>	
Оптимизация управления организационными системами путём улучшения динамики работоспособности операторов программных продуктов	18
<i>Вострых А.В.</i>	
Проблемы управления при взаимодействии территориального органа МЧС России с органами исполнительной власти субъекта РФ в период пожароопасного сезона	29
<i>Григорьева М.П., Смирнов С.А.</i>	
Модель и алгоритмы распределения внутренних ресурсов в организационной системе	41
<i>Григорьева М.П., Кружкова О.В., Кузнецова Е.С.</i>	
Метод расчёта эффективной ширины, полосы поиска уклоняющихся судов на основе текущей информации	56
<i>Колеров Д.А., Куватов В.И.</i>	
Информационная поддержка управления пожарными рисками сельских территорий	67
<i>Ничепорчук В.В., Кобыжакова С.В.</i>	
Оценка и анализ территориальных рисков здоровью населения от влияния климатических факторов	76
<i>Тасейко О.В.</i>	
Априорная оценка оправдываемости прогнозов количества лесных пожаров в Якутии на 2024 и 2025 гг. с учетом изменений потоков космических лучей и солнечной активности	87
<i>Холопцев А.В., Проскова Н.Ю., Шубкин Р.Г.</i>	
Разработка критериев и алгоритма проведения оценки управления планирования занятий по разбору пожаров	98
<i>Михайлин П.О.</i>	
Устойчивость структуры городской дорожной сети к явлениям чрезвычайного характера	105
<i>Бабёнышев С.В., Матеров Е.Н., Малютин О.С.</i>	
Показатели эффективности противопожарной защиты в регионах	117
<i>Джалолов А.Ш.</i>	
Модернизация отечественных систем оповещения и эвакуации	126
<i>Снежко А.А., Малышевская Л.Г., Филкова А.П., Ольхин Е.Е.</i>	
Пожарная безопасность (2.10.1. технические науки)	
Исследование воспламеняющей способности фрикционных искр	134
<i>Трояк Е.Ю., Пожаркова И.Н., Богданов А.А.</i>	
Научные основы поиска технических решений дальних водяных струй	143
<i>Амельчугов С.П., Батуро А.Н., Мартинович Н.В., Коваль Ю.Н.</i>	
Программный алгоритм для определения категории риска объекта защиты с учетом интегрального показателя тяжести потенциальных негативных последствий пожара	149
<i>Юркин Г.Ю., Проскова Н.Ю., Козлов Д.Ю.</i>	
Профилактика детского травматизма при пожарах в образовательных организациях	157
<i>Гаврюшенко В.П.</i>	
Оценка эффективности тушения горючих жидкостей пеной совместно с хладоном	163
<i>Гапеев А.А., Гудков М.А., Комраков П.В., Мещеряков А.В., Коваль Ю.Н.</i>	
Исследование пожарной опасности электронных устройств для курения	171
<i>Горбунов А.С., Богданов А.А.</i>	
Прогнозирование пожароопасных свойств сжиженного природного газа с использованием симплекс–решетчатых планов Шеффе	180
<i>Гудков М.А., Гапеев А.А., Тетерин И.А., Коваль Ю.Н., Герасименко Е.С.</i>	

Расчетно-экспериментальное определение фактических значений максимальной пропускной способности напорных пожарных рукавов 20-метровой длины с различными диаметрами условного прохода	190
<i>Куртов С.О., Малый В.П., Коваль Ю.Н.</i>	
Моделирование процесса формирования и скопления взрывоопасных газов в рабочих зонах угольных шахт	202
<i>Скрипник И.Л., Савельев Д.В., Каверзнева Т.Т., Ивахнюк С.Г.</i>	
Средства получения и перспективы применения компрессионной пены в пожаротушении	212
<i>Сизонова Н.А.</i>	
Применение рентгеноструктурного анализа при исследовании окалины стальных горячекатаных объектов в пожарно-технической экспертизе	222
<i>Талай И.Я., Кабакова Е.С., Долгушина Л.В., Горбунов А.С.</i>	
Оптимизация расходов огнетушащих средств при тушении ландшафтных и лесных пожаров беспилотными авиационными системами	231
<i>Амельчугов С.П., Батуро А.Н., Симоненко А.С., Негин В.А.</i>	
Тенденции и перспективы развития производства высотно-спасательных автомобилей в России и ближнем зарубежье	235
<i>Преснов А.И., Марченко М.А., Лоран Н.М.</i>	
Методика проведения проверок дымности дизельных пожарных автомобилей с использованием устройства изменения скоростного режима двигателя	244
<i>Ложкин В.Н., Сацук И.В., Голякова Е.И.</i>	

Управление в организационных системах (2.3.4. технические науки)

Научная статья

УДК 630; 502.45; 630*426.1

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.30.95.001

Современные тенденции изменения повторяемости гроз над Сибирью и смещение Северного магнитного полюса

*Александр Вадимович Холопцев*¹

*Наталья Юрьевна Проскова*²

*Роман Геннадьевич Шубкин*³

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия,

¹<https://orcid.org/0000-0002-9757-5219>

²<https://orcid.org/0009-0000-0068-2968>

³<https://orcid.org/0000-0002-7163-8146>

Автор ответственный за переписку: Наталья Юрьевна Проскова, knd@sibpsa.ru

Аннотация. Выявление причин изменений повторяемости гроз, являющихся одной из причин ландшафтных пожаров, - актуальная проблема управления организационными системами. Известно, что значимое влияние на эти изменения во многих регионах оказывают перемены их термического режима. Управляют ими также вариации потоков космических лучей, проникающих в тропосферу, которые вызывают ионизацию воздуха. Такие потоки, как правило, повышены в районах, расположенных вблизи магнитных полюсов. За время осуществления наблюдений за положением Северного магнитного полюса выявлено его смещение из района Канадского арктического архипелага (территория Нунавут (Канада)), в направлении полуострова Таймыр (Сибирь) почти на 2500 км. В XXI веке это смещение ускорилося, а повторяемость гроз над многими пунктами Сибири увеличилась, что позволяет предположить значимость причинной связи между изучаемыми процессами. Целью данной работы являлось осуществление такой проверки. При этом изучены изменения повторяемости гроз над пунктами Красноярского края, Якутии, а также территории Нунавут, которые расположены между параллелями 60° с.ш. и 65° с.ш. Установлено, что скорость увеличения средней повторяемости гроз для всех рассматриваемых пунктов территории Сибири в XXI веке значительно превосходила этот показатель для любых пунктов территории Нунавут. Так как потепление местного климата в изучаемых пунктах Сибири и Канады было практически одинаковым, полученный результат доказывает, что влияние смещения Северного магнитного полюса на изменения повторяемости гроз над изучаемыми пунктами являлось значимым. Следовательно, при дальнейшем смещении полюса в том же направлении, повторяемости гроз над упомянутыми регионами Сибири, а значит и количества ландшафтных пожаров, возникающих на их территориях, существенно возрастут.

Ключевые слова: повторяемость гроз, пожароопасность, Северный магнитный полюс, потепление климата, Сибирь, территория Нунавут, тенденция

Для цитирования: Холопцев А.В., Проскова Н.Ю., Шубкин Р.Г. Современные тенденции изменения повторяемости гроз над Сибирью и смещение Северного магнитного полюса // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С.9-19. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.30.95.001>.

Original article

CURRENT TRENDS IN THE FREQUENCY OF THUNDERSTORMS OVER SIBERIA AND THE DISPLACEMENT OF THE NORTH MAGNETIC POLE

*Alexander V. Kholoptsev*¹

*Natalya Yu. Proskova*²

*Roman G. Shubkin*³

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia,

¹<https://orcid.org/0000-0002-9757-5219>

²<https://orcid.org/0009-0000-0068-2968>

³<https://orcid.org/0000-0002-7163-8146>

Corresponding author: *Natalya Yu. Proskova, knd@sibpsa.ru*

Abstract. Identification of the causes of changes in the recurrence of thunderstorms, which are one of the causes of landscape fires, is an urgent problem of management of organizational systems. It is known that these changes in many regions are significantly influenced by changes in their thermal regime. They are also controlled by variations in the fluxes of cosmic rays penetrating the troposphere, which cause air ionization. Such fluxes are usually increased in the regions located near the magnetic poles. During the period of observations of the position of the north magnetic pole, its displacement from the Canadian Arctic Archipelago (territory of Nunavut (Canada)) to the Taimyr Peninsula (Siberia) by almost 2500 km has been revealed. In the 21st century, this displacement has accelerated and the recurrence of thunderstorms over many points in Siberia has increased, which suggests the significance of a causal relationship between the processes under study. The purpose of this work was to carry out such a check. Changes in the frequency of thunderstorms over points in Krasnoyarsk Krai, Yakutia, and Nunavut, which are located between the parallels 60° N and 65° N, were studied. It was found that the rate of increase in the average thunderstorm frequency for all studied locations in Siberia in the 21st century was significantly higher than for any locations in Nunavut. Since the warming of the local climate in the studied points of Siberia and Canada was almost the same, the obtained result proves that the influence of the shift of the northern magnetic pole on the changes in the frequency of thunderstorms over the studied points was significant. Consequently, at further displacement of the pole in the same direction, the recurrence of thunderstorms over the mentioned regions of Siberia, and hence the number of landscape fires occurring in their territories, will increase significantly.

Keywords: thunderstorm recurrence, fire hazard, North magnetic pole, climate warming, Siberia, Nunavut Territory, trend

For citation: Kholoptsev A.A., Proskova N.Yu., Shubkin R.G. Current trends in the frequency of thunderstorms over Siberia and the displacement of the North Magnetic Pole // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 3 (34). С. 9-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.30.95.001>.

Введение

Выявление причин и современных тенденций изменений средней повторяемости гроз (далее СПГ) над теми или иными участками земной поверхности является актуальной проблемой физической географии, а также безопасности при чрезвычайных ситуациях.

Наибольший интерес решение этой проблемы в России представляет для регионов: Республики Саха (Якутия), Красноярского края и Иркутской области, расположенных в Сибири, значительная территория которых покрыта лесом.

Согласно существующим представлениям о причинах изменений СПГ над той или иной местностью [1,2], к наиболее существенным факторам этого процесса относятся перемены ее термического режима, а также степени ионизации находящегося над ней тропосферного воздуха [3,4].

Над регионами Северного умеренного климатического пояса грозы образуются в месяцы с мая по сентябрь. Грозовые разряды возникают в облаках вертикального развития Сб, которые

формируются в результате термической или динамической конвекции, приводящей к ионизации воздуха, разделению и накоплению электрических зарядов. Поэтому следствием потепления климата любой местности является увеличение над нею СПГ.

Существенным фактором ионизации воздуха также являются частицы космических лучей, проникающие в тропосферу. Поэтому межгодовые изменения СПГ над той или иной местностью, как правило, значимо и положительно коррелированы с вариациями их потоков (далее ПКЛ).

Изменения ПКЛ в основном обусловлены вариациями характеристик солнечной активности [5,6]. Поэтому как показатель СПГ, в данной работе рассматривается среднее количество гроз, которое возникает над изучаемой местностью за год, относящийся к временному интервалу продолжительностью 11 лет (что совпадает с длительностью цикла Швабе) [7,8].

Значимое влияние на ПКЛ оказывают также изменения характеристик геомагнитного поля, которое защищает земную атмосферу от воздействия на нее заряженных частиц, не обладающих энергией, достаточной для преодоления этой защиты. Магнитное поле Земли препятствует вхождению в атмосферу частиц, относящихся в основном к солнечному ветру [3,4,8,9].

Солнечная активность модулирует средний поток и скорость частиц солнечного ветра, что, вследствие Форбуш-эффекта [10], приводит к соответствующим изменениям ПКЛ. Поскольку Солнечная активность изменяется квазициклически, такие же циклы наблюдаются и в вариациях ПКЛ [3,4,8].

Минимальные энергии частиц космических лучей, которые способны проникать в тропосферу над той или иной местностью, определяются характеристиками магнитного поля Земли и взаимодействующего с ней солнечного ветра.

Важной характеристикой магнитного поля Земли, определяющей ПКЛ для каждого рассматриваемого участка поверхности Северного полушария, является расположение этого участка относительно Северного магнитного полюса [11]. Чем ближе изучаемая местность находится к этому полюсу, тем меньше энергия упомянутых частиц, способных войти над ней в тропосферу и, при прочих равных условиях, больше ПКЛ.

Координаты Северного магнитного полюса в 1831 году впервые установил Джеймс Росс, обнаруживший его у северного побережья острова Кинг Вильям (Канадский арктический архипелаг), который относится ныне к территории Нунавут (Канада).

Территория Нунавут полностью расположена в зоне вечной мерзлоты и относится, как и северные районы Красноярского края (Таймырский (Долгано-Ненецкий) и Эвенкийский) а также Якутии, к Арктической и Субарктической климатической зоне.

Дальнейшие исследования пространственно-временной изменчивости геомагнитного поля показали, что магнитные полюса нашей планеты с течением времени изменяют свое расположение. Причины этого процесса не установлены, что на его динамику не влияет. Схема движения Северного магнитного полюса в период 1831 – 2020 гг. показана, согласно [12], на Рис.1.

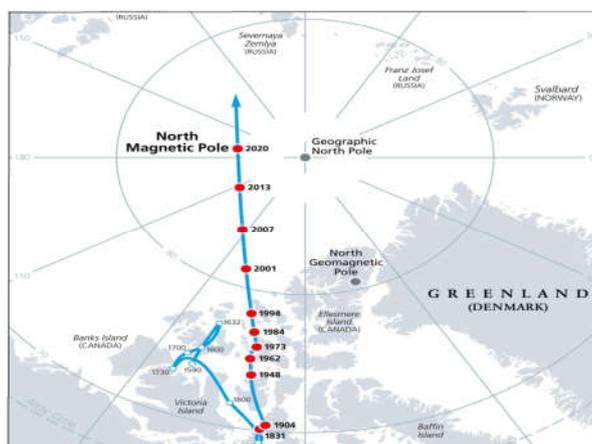


Рис.1. Схема движения Северного магнитного полюса в период 1831 – 2020 гг.

Из Рис.1 видно, что в XIX, XX и XXI веке Северный магнитный полюс смещался из указанного выше района в направлении полуострова Таймыр. В 2017 году он пересек линию перемены дат и переместился в Восточное полушарие нашей планеты.

К настоящему времени Северный магнитный полюс преодолел уже почти 2500 км [12]. В результате этого его удаление от полуострова Таймыр и территорий Красноярского края и Якутии значительно сократилось, а расстояние от его исходного расположения (на территории Нунавут) увеличилось.

Скорость перемещения Северного магнитного полюса за период наблюдений возросла. Наиболее существенное ее увеличение произошло в XXI веке (с 15 км/год в 2000 году до 55 км/год в 2019 году [13]).

Как следует из изложенного, в 2024 году территории многих районов Якутии, а также Таймырского (Долгано-Ненецкого) Автономного района Красноярского края расположены значительно ближе к Северному магнитному полюсу, чем в начале XXI века. Учитывая это, допустимо предположить, что уменьшение расстояния между ними привело в XXI веке к значимому увеличению СПГ.

Выдвинутая гипотеза тривиальной не является, так как в указанные годы изменения СПГ были вызваны совместным действием изучаемого фактора и ряда других процессов, среди которых важнейшим являлось потепление климата. Некоторое влияние могло оказывать также уменьшение средней напряженности геомагнитного поля, которое за период от начала наблюдений превысило 9 % [8].

Если выдвинутая гипотеза окажется справедливой, то дальнейшее смещение Северного магнитного полюса на территорию Таймырского (Долгано-Ненецкого) Автономного района Красноярского края, может привести к существенному увеличению здесь ПКЛ, ускоренному потеплению местного климата, а также возрастанию количества ландшафтных пожаров, уже в ближайшие десятилетия.

Следовательно, проверка справедливости данной гипотезы представляет не только теоретический, но и практический интерес.

Мониторинг изменений повторяемости гроз, возникавших за год на территориях тех или иных регионов России, в некоторых их пунктах систематически осуществляют специалисты соответствующих подразделений Росгидромета. Полученные результаты, охватывающие весь период современного потепления климата, представлены на сайте [14].

Тем не менее, справедливость выдвинутой гипотезы ранее не проверялась. Учитывая данное обстоятельство, целью работы являлась проверка выдвинутой гипотезы.

Материалы и методы

Как уже отмечалось выше, существенное влияние на изменения СПГ над той или иной территорией оказывают вариации ее термического режима.

Следовательно, для подтверждения значимости влияния смещения Северного магнитного полюса на вариации СПГ, целесообразно проанализировать изменения значений этого показателя для местностей, удаления которых от полюса изменяются в противоположных направлениях, в то время как их термические режимы меняются однонаправленно.

Как уже отмечалось выше, в XXI веке расстояние от Северного магнитного полюса до полуострова Таймыр сокращается с наибольшей скоростью, а до любого пункта территории Нунавут оно столь же быстро увеличивается. Поэтому для проверки выдвинутой гипотезы осуществлено сопоставление зависимостей от времени СПГ над репрезентативными пунктами республики Саха (Якутия) и Красноярского края, с аналогичными зависимостями для репрезентативных пунктов территории Нунавут.

При выборе таких пунктов учитывалось, что чем дальше от Северного магнитного полюса они расположены, тем слабее его перемещение способно влиять на вариации ПКЛ и СПГ. Учитывалось также, что над территориями, относящимися к ландшафтной зоне Арктических пустынь, гроз практически не бывает, вследствие чего выявить изменения СПГ для них невозможно.

Вследствие этого в качестве репрезентативных выбраны пункты упомянутых регионов Сибири и территории Нунавут, которые расположены между параллелями 60° с.ш. и 65° с.ш. и относятся либо к ландшафтной зоне тайги (бореальных лесов), либо к подзоне лесотундры.

Перечень и координаты таких пунктов, где мониторинг грозовой активности начал осуществляться не позднее 1982 года представлен в Таблице 1.

Таблица 1. Перечень и координаты репрезентативных пунктов Сибири и территории Нунавут

Красноярский край					
Наименование пункта наблюдения	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)	Наименование пункта наблюдения	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)
Байкит	61,66	96,36	Ванавара	60,33	102,26
Республика Саха (Якутия)					
Наименование пункта наблюдения	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)	Наименование пункта наблюдения	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)
Оймякон	63,25	143,15	Амга	60,9	131,98
Территория Нунавут					
Наименование пункта наблюдения	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)	Наименование пункта наблюдения	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)
Baker Lake	64,3	-96,08	Coral Harbor	64,2	-83,36
Iqaluit	63,75	-68,53	Rankin-Inlet	62,81	-92,11

Как видно из Таблицы 1, оба репрезентативных пункта Красноярского края относятся к его Эвенкийскому Автономному району и расположены в ландшафтной зоне тайги.

Рассматриваемые пункты территории Якутии, как и пункт Rankin-Inlet территории Нунавут также находятся в зоне бореальных лесов.

Прочие территории Нунавут относятся к подзоне лесотундры. Поэтому средние значения СПГ для изучаемых пунктов различались, несмотря на то, что среднегодовые потоки солнечной радиации, входящей в атмосферу над ними были практически одинаковы.

Как источник информации об изменении СПГ в указанных пунктах использован электронный ресурс [14], сформированный, основываясь на сведениях, полученных при фактических наблюдениях за грозовой активностью. Из него также получены сведения об изменениях термических режимов в изучаемых пунктах, произошедших за период современного потепления климата (включая 2023 год).

Из этих сведений, а также из [15], следует, что во всех изучаемых пунктах за период современного потепления климата их термические режимы изменялись в одинаковых направлениях и с приблизительно одинаковой скоростью, что должно было вызвать повсеместное изменение СПГ в сторону увеличения.

Решение о том, что влияние движения Северного магнитного полюса на вариации СПГ на рассматриваемых территориях Сибири, в XXI веке являлось значимым, принималось, если для ее репрезентативных пунктов линейный тренд, присутствующий в этих вариациях являлся значимым и возрастающим, а для таких же пунктов территории Нунавут он был значимым и убывающим.

Решение о значимости изучаемого влияния принималось, если достоверность такого статистического вывода превышала 0,95. Для этого использовано допущение о том, что отклонения значений рассматриваемого показателя от соответствующего линейного тренда в период после 2000 года подчиняются нормальному закону. Справедливость этого допущения проверялась с применением критерия Пирсона.

Использование этого допущения позволило принимать решение о значимости изучаемого влияния, если имело место:

$$14 * \text{УКЛТ} > 1,65 * \text{СКО}$$

где УКЛТ – угловой коэффициент линейного тренда временного ряда изучаемого показателя для периода 2000 – 2013 гг.;

СКО – соответствующее среднеквадратическое отклонение.

Нетрудно видеть, что в действительности возможен случай, когда такое решение принять невозможно, поскольку выявленный тренд изучаемого процесса значимым не являлся.

В таком случае влияние смещения Северного магнитного поля признавалось значимым, если для периода 2000 – 2023 гг. средняя скорость увеличения СПГ для пунктов Сибири была существенно больше, чем для пунктов территории Нунавут. Последнее имеет место, если линейные тренды, присутствующие в зависимостях от времени отношений значений СПГ, соответствующих рассматриваемым пунктам Сибири, к значениям СПГ для таких пунктов территории Нунавут являются значимыми и возрастающими.

При принятии решения о значимости таких трендов применялся указанный выше критерий.

Как известно, критерий Пирсона на выборках малой длины не вполне надежен. Поэтому выводы, полученные с применением изложенной методики, следует рассматривать как носящие качественный характер.

Результаты исследования и их анализ

Как показали исследования, за период 2000 – 2013 гг. во всех рассматриваемых пунктах территории Сибири значения СПГ существенно увеличились. Увеличение рассматриваемых показателей имело место и для некоторых пунктов территории Нунавут. Соответствующие зависимости от времени СПГ для изучаемых пунктов показаны на Рис.2.

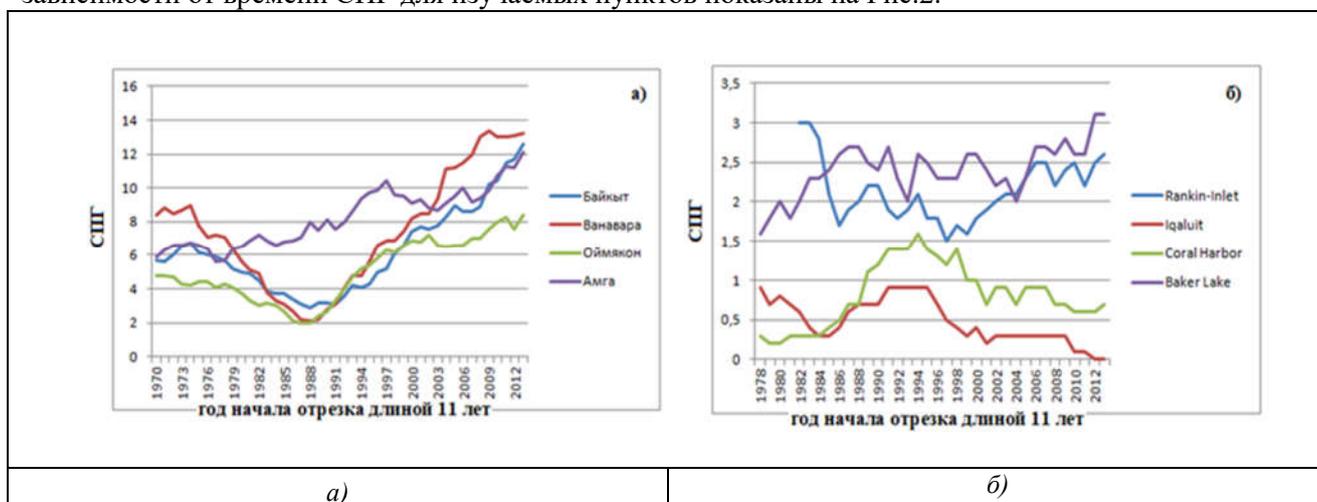


Рис.2. Зависимости от времени значений СПГ для рассматриваемых пунктов территории: а) Сибири; б) Нунавут

Из Рис.2а видно, что для всех изучаемых пунктов территории Сибири за период 1990 – 2013 гг. значения СПГ устойчиво и значимо возрастали по закону, близкому к линейному. При этом такое увеличение для п. Амга имело место за период 1970 – 2013 гг.

Рис.2б свидетельствует о том, что для пунктов Rankin-Inlet и Baker Lake территории Нунавут в период 1990 – 2013 гг. значения СПГ также несколько увеличились.

Для пунктов Coral Harbor и Iqaluit за тот же период времени значения СПГ значимо снизились, не смотря на происходившее потепление их климата [23]. При этом для пункта Iqaluit – столицы территории Нунавут, в период 2012 – 2023 гг. ни одной грозы не произошло. Единственным возможным объяснением этому может служить значимость влияния на СПГ над этими пунктами, которое оказывает увеличение расстояния от них до Северного магнитного полюса.

Таким образом, результаты рассматриваемых исследований, полученные для всех репрезентативных пунктов Сибири, а также пунктов Coral Harbor и Iqaluit свидетельствуют о том, что влияние на СПГ смещения Северного магнитного полюса в 2000 – 2023 гг. было значимым. Вместе с тем результаты, полученные для пунктов Rankin-Inlet и Baker Lake, свидетельствуют о необходимости подтверждения справедливости такого вывода.

Для получения такого подтверждения были вычислены упомянутые выше значения отношения СПГ для пунктов Rankin-Inlet и Baker Lake, а также всех рассматриваемых пунктов Сибири. Полученные при этом результаты представлены на Рис.3.

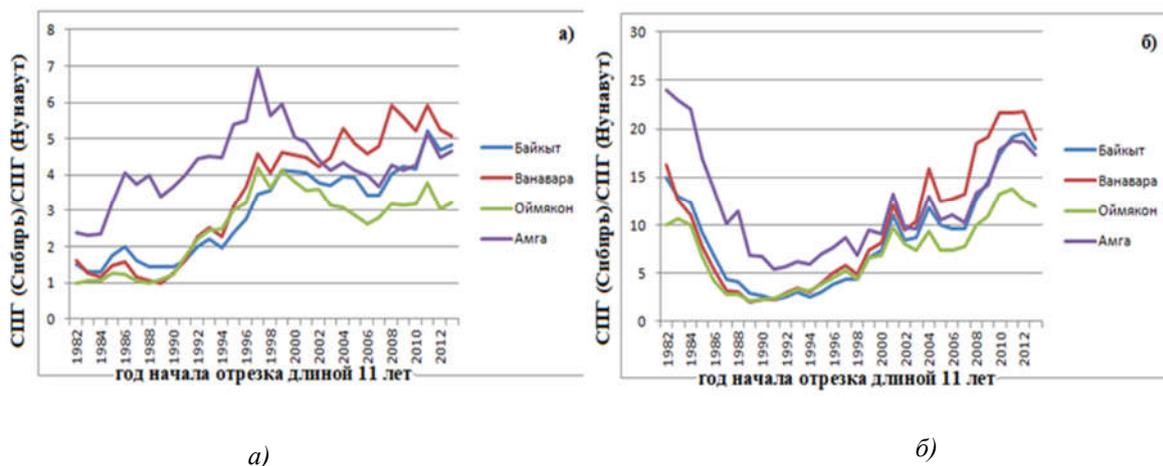


Рис.3. Зависимости отношений СПГ для репрезентативных пунктов Сибири к значениям этого показателя для пунктов территории Нунавут: а) Rankin-Inlet; б) Baker Lake

Как следует из Рис.3а и 3б, за период 1990 – 2013 гг. значения отношений СПГ для всех рассматриваемых пунктов Сибири к аналогичным показателям для пунктов Rankin-Inlet и Baker Lake территории Нунавут значительно увеличились. Возросли они и для периода 2005 – 2013.

Как видим, значимость влияния смещения Северного магнитного полюса подтверждена с учетом наблюдений, выполненных и в указанных пунктах.

Следовательно, полученные результаты доказывают, что смещение Северного магнитного полюса в период после 1990 года привело к значимому увеличению СПГ для всех репрезентативных пунктов территории Сибири, которое усилилось в результате произошедшего потепления их климата.

Для территории Нунавут тот же процесс оказал на изменения СПГ не менее значимое, но противоположное влияние. Для пунктов Coral Harbor и Iqaluit он вызвал уменьшение СПГ, несмотря на потепление их климата, а для пунктов Rankin-Inlet и Baker Lake его влияние существенно ослабило рассматриваемое последствие потепления климата.

Таким образом, справедливость выдвинутой гипотезы подтверждена.

Установлено, что смещение Северного Магнитного полюса в сторону полуострова Таймыр в XXI веке являлось одной из значимых причин увеличения СПГ на рассматриваемых территориях Сибири.

Последнее позволяет утверждать, что дальнейшее приближение полюса к территориям северных районов Красноярского края и Республики Саха (Якутии) вызовет на них, а вероятно, и на территориях Иркутской области и Ямало-Ненецкого Автономного округа, еще большее увеличение СПГ.

В результате этого темпы потепления климата в указанных регионах, по сравнению с регионами, более удаленными от Северного магнитного полюса, возрастут, что в значительной степени увеличит пожарные риски.

При сохранении современного значения средней скорости движения Северного магнитного полюса, он достигнет территории полуострова Таймыр к 2050 году.

Тем не менее, упомянутые опасные последствия этого процесса могут наступить значительно ранее, так как полюс движется ускоренно.

Обсуждение полученных результатов

Полученные результаты в полной мере соответствуют существующим представлениям о причинах изменения СПГ [1,3,16], происходящих вариациях солнечной активности [5,6,8], а также характеристик геомагнитного поля. Вместе с тем в статье установлены некоторые факты, обладающие существенной научной новизной.

Одним из них является доказательство того, что смещение в сторону полуострова Таймыр Северного магнитного полюса оказывает значимое влияние на изменение СПГ как на территории регионов Сибири, к которым он приближается, так и на территории регионов Канады, от которых он удаляется.

Так как одной из непосредственных причин происходящих изменений СПГ являются синхронные, по отношению к ним, вариации ПКЛ, из этого следует, что приближение к Сибири Северного магнитного полюса вызывает значимое увеличение этого потока.

Так как увеличение ПКЛ приводит к снижению общего содержания стратосферного озона в атмосфере и увеличению интенсивности образования в ней космогенных радионуклидов, дальнейшее приближение полюса к полуострову Таймыр вызовет здесь увеличение потоков биологически активной ультрафиолетовой радиации, а также повышение радиационного фона. Все это может вызвать значительное увеличение заболеваемости населения Красноярского края и Якутии саркомой и меланомой, а также оказать негативное влияние на состояние природных биоценозов Сибири.

Следует учитывать, что смещение магнитных полюсов отражает изменения состояний мощнейших процессов, происходящих во внешнем ядре, а также, вероятно, и в мантии нашей планеты, которые могут служить причиной наблюдающейся в современном периоде активизации вулканизма и землетрясений. Поэтому усиление грозовой активности в Сибири является всего лишь одним из не самых существенных последствий этих процессов.

Для предотвращения ущерба, наносимого такими процессами и смещением Северного магнитного полюса, необходимо принимать управленческие решения превентивного характера.

Актуальной проблемой поддержки принятия решений по обеспечению безопасности при чрезвычайных ситуациях и предотвращении их возникновения является развитие технологий прогнозирования ландшафтных пожаров и других опасных природных явлений в Сибири, а также мер по защите и восстановлению лесов ее лесов. Важную роль в ее решении могло бы сыграть, например, создание на территории Таймырского (Долгано-Ненецкого) Автономного района Красноярского края системы наземного и спутникового геофизического и гидрометеорологического мониторинга их предвестников, а также кардинальное реформирование государственной политики в области лесопользования и лесовосстановления.

Выводы

Таким образом, установлено:

1. Смещение Северного Магнитного полюса Земли в направлении полуострова Таймыр вносит значимый вклад в увеличение средней повторяемости гроз, вызванное потеплением климата, на территориях регионов России, к которым он приближается.
2. Рассматриваемый процесс противодействует увеличению средней повторяемости гроз на территориях, от которых полюс удаляется.
3. Смещение Северного магнитного полюса оказывает указанное влияние на грозовую активность благодаря зависимости от его расположения среднего потока космических лучей, проникающего в тропосферу над той или иной местностью, который достигает абсолютного максимума непосредственно в районе этого полюса.

4. Так как рассматриваемый процесс в современном периоде стремительно ускоряется, предотвратить грандиозный ущерб, который может быть нанесен им населению и экономике России, можно лишь отреагировав на выявленную угрозу оперативно и адекватно.

Список источников

1. Горбатенко В.П. Синоптические условия образования и развития гроз над территорией Западной Сибири и Казахстана / Горбатенко В.П. // Вестник Томского государственного университета. – 2001. – № 274. – С. 148-154. – EDN OXHSHF. электрон. версия. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17698510> (дата обращения 20.08.2024).
2. Лощенко К.А. Исследование гроз на территории Иркутской области / Лощенко К.А., Латышева И.В., Лыков С.С. // Российская цивилизация: история, проблемы, перспективы: Материалы XXVI региональной молодежной научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 12 декабря 2021 года. – Иркутск: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Оттиск», 2022. – С. 222-226. – EDN GOOIKB. электрон. версия. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48402566> (дата обращения 20.08.2024).
3. Ермаков В.И., Стожков Ю.И. Космические лучи в механизме образования грозовых облаков // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2003. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kosmicheskie-luchi-v-mehanizme-obrazovaniya-grozovyh-oblakov> (дата обращения: 17.08.2024).
4. Стожков Ю.И., Махмутов В.С., Свиржевский Н.С. Исследования комических лучей на баллонах в Физическом институте имени П.Н. Лебедева РАН // Успехи физических наук. – 2022. – Т. 192. – №9. – С. 1054 – 1063. <https://doi.org/10.3367/UFNr.2021.06.039215>.
5. Константиновская Л.В. Солнечная активность. // Москва, ООО «ИСПО-ПРИНТ», 2019. – 240 с.
6. Хейг Дж.Д. Солнечная изменчивость и климат / Хейг Дж.Д. – Космическая погода. – Спрингер – под ред. Дж. Ливенстона – 2007. – Р. 65 – 81.
7. Абдусаматов Х.И. Солнце диктует климат Земли. СПб: Изд-во «Logos», 2009. 197 с.
8. Холопцев А.В., Никифорова М.П. Солнечная активность и прогнозы физико-географических процессов. / LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2013. – 333 p. – ISBN:978-3-659-41130-4.
9. Кузнецов В.В., Кузнецова Н.Д. Влияние космического излучения и вековых вариаций геомагнитного поля на климат и эволюцию жизни на Земле. URL: <http://kcs.dvo.ru/ikir/Russian/Science/2004/3-11.pdf> (дата обращения: 17.08.2024).
10. Тодд М.С., Найвтон Д.Р. Изменения в облачном покрове, связанные с резким уменьшением галактических космических лучей // J. Geophys. Res. – 2001. – v. 106. N D 23. – Р. 32031 – 32041. DOI: 10.1029/2001JD000405.
11. Долгопрудненская научная станция имени Вернова С.Н. Лаборатория физики Солнца и космических лучей. Физический институт имени Лебедева П.Н. РАН. URL: https://sites.lebede3v.ru/DNS_FIAN.
12. Схема перемещения Северного магнитного полюса в XIX-XXI веке. URL: <https://www.digimap.ru/publications/item/27> (дата обращения 17.08.2024).
13. Смещение геомагнитных полюсов. Национальный центр геофизических данных. NOAA. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/products/wandering-geomagnetic-poles> (дата обращения 17.08.2024).
14. Банк данных об изменениях метеоусловий в различных регионах мира. URL: <https://tutiempo.net/climate/> (дата обращения 17.08.2024).
15. Изменение климата: Основы физической науки. (2013) URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/lncs>, last accessed 2016/11/23 (дата обращения: 17.08.2024).
16. Петрова С.Д., Апросимов В.Л., Фомин Н.Ф. [и др.] Итоги первого этапа исследования влияния грозовой активности на возникновение лесных пожаров в Центральной Якутии // Второй региональной летней научной школы молодых ученых-космофизиков, посвященной 50-летию радиофизических наблюдений на полигоне, Якутск, 04–05 августа 2022 года. – Якутск: Государственное казенное учреждение Республики Саха (Якутия) "Национальная библиотека Республики Саха (Якутия)", 2023. – С. 167-174. – EDN ETXMHZ.

References

1. Gorbatenko V.P. Synoptic conditions of formation and development of thunderstorms over the territory of Western Siberia and Kazakhstan / Gorbatenko V.P. // Bulletin of Tomsk State University. - 2001. - № 274. - С.148-154.
2. Loschenko K.A. Study of thunderstorms on the territory of the Irkutsk region / Loschenko K.A., Latysheva I.V., Lykov S.S. // Russian civilization: history, problems, prospects: Proceedings of the XXVI regional youth scientific-practical conference with international participation, Irkutsk, December 12, 2021. - Irkutsk: Limited Liability Company "Publishing House 'Ottisk'", 2022. - С.222-226. - EDN GOOIKB. electronic version. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48402566> (date accessed 20.08.2024).
3. Ermakov V.I., Stozhkov Yu.I. Cosmic rays in the mechanism of thunderstorm clouds formation. thunderstorm clouds // Short messages on physics of FIAN. 2003. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kosmicheskie-luchi-v-mehanizme-obrazovaniya-grozovyh-oblakov> (date of reference: 17.08.2024).
4. Stozhkov Yu.I., Makhmutov V S., Svirzhevskiy N.S. Investigations of comic rays on balloons at the Lebedev P.N. Physical Institute of the Russian Academy of Sciences. of comic beams on balloons at the P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences // Uspekhi Physical Sciences. - 2022. - Т. 192. - №9. - С.1054 - 1063. <https://doi.org/10.3367/UFNr.2021.06.039215>.
5. Konstantinovskaya L.V. Solar activity. // Moscow, ООО "SPES-PRINT", 2019. - 240 с.
6. Haigh J.D. Solar variability and climate / Haigh J.D. – Space Weather. – Springer. – ed. J. Livenston. – 2007. – P. 65 – 81.
7. Abdusamatov H.I. The Sun dictates the Earth's climate. St. Petersburg: Logos Publishing House, 2009. 197 с.
8. Kholoptsev A.V.V., Nikiforova M.P. Solar activity and forecasts of physical and geographical processes. / LAP LAMBERT Academic Publishing. - 2013. - 333 p. - ISBN:978-3-659-41130-4.
9. Kuznetsov V.V., Kuznetsova N.D. Influence of cosmic radiation and secular variations of the geomagnetic field on climate and evolution of life on Earth. URL: <http://kes.dvo.ru/ikir/Russian/Science/2004/3-11.pdf> (date accessed: 17.08.2024).
10. Todd M.C., Kniveton D.R. Changes in cloud cover associated with Forbush decreases of galactic cosmic rays // Geophys J. Res. – 2001. – v. 106. N D 23. – P. 32031 – 32041. DOI:10.1029/2001JD000405.
11. Vernova S.N. Dolgoprudny Research Station. Laboratory of solar and cosmic ray physics. Lebedev P.N. Physical Institute of the Russian Academy of Sciences. URL: https://sites.lebede3v.ru/DNS_FIAN.
12. Scheme of movement of the North Magnetic Pole in the XIX-XXI century. URL: <https://www.digimap.ru/publications/item/27> (date accessed: 17.08.2024).
13. Wandering of the Geomagnetic Poles. National Geophysical Data Center. NOAA. URL: <https://www.ncsl.noaa.gov/products/wandering-geomagnetic-poles> (date accessed: 17.08.2024).
14. Data Bank on Changes in Meteorological Conditions in Different Regions of the World. URL: <https://tutiempo.net/climate/> (date accessed: 17.08.2024).
15. Climate Change: The Physical Science Basis. (2013) URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/lncs>, last accessed 2016/11/23 (date accessed: 17.08.2024).
16. Petrova S.D., Aprosimov V.L., Fomin N.F.. [et al.] Results of the first stage of the study of the influence of thunderstorm activity on the occurrence of forest fires in Central Yakutia // Second Regional Summer Scientific School of Young Scientists-Cosmophysicists, dedicated to the 50th anniversary of radiophysical observations at the test site, Yakutsk, August 04-05, 2022. - Yakutsk: State Kazennoe Institution of the Republic of Sakha (Yakutia) "National Library of the Republic of Sakha (Yakutia)", 2023. - С. 167-174. - EDN ETXMZH.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.07.2024; одобрена после рецензирования 20.08.2024; принята к публикации 30.08.2024.

The article was submitted 27.07.2024, approved after reviewing 20.08.2024, accepted for publication 30.08.2024.

Научная статья
УДК 004.5
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.95.59.026

Оптимизация управления организационными системами путём улучшения динамики работоспособности операторов программных продуктов

Алексей Владимирович Вострых

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

<https://orcid.org/0000-0002-8261-0712>

Автор ответственный за переписку: Алексей Владимирович Вострых, a.vostrykh@list.ru

Аннотация. В статье ставится научная задача по оценке и поиску путей повышения работоспособности операторов организационных систем, выполняющих свои должностные обязанности в программных продуктах, обладающих графическими пользовательскими интерфейсами. Для этого в статье установлены связи между эффективностью интерфейсов и работоспособностью пользователей в анализируемых программах; определены составляющие работоспособности; предложена оригинальная формула вычисления данного показателя. В состав формулы вычисления работоспособности вошли как характеристики интерфейсов и пользователей, так и характеристики воздействия внешних факторов.

Также в статье проведён эксперимент, демонстрирующий, что на работоспособность пользователей программ помимо эффективности интерфейсов влияют нагрузка вработываемости и монотонности, а также утомляемость пользователей.

Ключевые слова: динамика работоспособности, графический пользовательский интерфейс, нагрузки, фазы работоспособности, организационные системы

Для цитирования: Вострых А.В. Динамика работоспособности пользователей программных продуктов // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 20-29. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.95.59.026>.

Original article

OPTIMIZATION OF MANAGEMENT OF ORGANIZATIONAL SYSTEMS BY IMPROVING THE DYNAMICS OF OPERABILITY OF SOFTWARE PRODUCT OPERATORS

Alexey V. Vostrykh

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

<https://orcid.org/0000-0002-8261-0712>

Corresponding author: Alexey V. Vostrykh, a.vostrykh@list.ru

Abstract. The article sets a scientific task to evaluate and find ways to improve the efficiency of operators of organizational systems performing their official duties in software products with graphical user interfaces. To do this, the article establishes links between the effectiveness of interfaces and the performance of users in the analyzed programs; defines the components of performance; proposes an original formula for calculating this indicator. The formula for calculating performance includes both the characteristics of interfaces and users, as well as the characteristics of the impact of external factors.

The article also conducted an experiment demonstrating that, in addition to the effectiveness of interfaces, the workload of workability and monotony, as well as user fatigue, affect the performance of program users.

Keywords: efficiency dynamics, graphical user interface, loads, efficiency phases, organizational systems

For citation: Vostrykh A.V. Dynamics of performance of users of software products // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 3 (34). С. 20-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.95.59.026>.

Введение

В настоящее время всё большую нишу в трудовой деятельности занимают компьютеризированные профессии, связанные с работой в различных информационных системах (ИС) на основе использования дисплейной технологии [1,2]. Основными причинами глобальной компьютеризации стали: небывалая скорость получения визуальных данных и их передача адресату, что приводит к более эффективному практическому использованию информации [1].

Несмотря на свои многочисленные преимущества (экономия времени на выполнение задачи, высокая скорость вычислений, сокращение рутинной работы и т.д.) современные программные продукты (ПП) обладают рядом существенных недостатков, одним из которых является высокая степень воздействия когнитивной, визуальной и моторной нагрузок на пользователей, что приводит к повышению их утомляемости и снижению работоспособности [3-5]. Под работоспособностью в настоящей статье понимается способность человека выполнять конкретную деятельность в рамках заданных временных лимитов и параметров эффективности.

Перечисленные выше нагрузки зависят от эффективности реализации графических пользовательских интерфейсов (ГПИ) программ [6]. Сегодня, практически каждый современный ПП имеет оболочку в виде ГПИ, которые устанавливают ментальную связь между пользователями и программными алгоритмами, позволяя операторам в организационных системах успешно осуществлять свою деятельность на компьютере с минимальными знаниями в области программирования и проектирования ИС [6-9].

Для снижения нагрузок на пользователей необходимо проектировать качественные и эффективные ГПИ, а в случае выбора между аналогичными ПП по функциональному наполнению и предназначению, требуется средство обоснованного выбора в пользу того или иного ПП, обладающего более эффективным ГПИ. Определение эффективности ГПИ представляется автору статьи в вычислении работоспособности операторов организационных систем, выполняющих должностные обязанности в анализируемом ПП. Для этого имеет смысл рассмотреть динамику работоспособности людей в течение их рабочих смен в ПП.

В научных трудах [10-15] выделен следующий спектр фаз работоспособности операторов организационных систем в течении рабочей смены:

- I – предрабочее состояние (фаза мобилизации);
- II – выработка (фаза гиперкомпенсации);
- III – период устойчивой работоспособности (фаза компенсации);
- IV – период утомления (фаза субкомпенсации);
- V – перерыв на отдых (фаза нормативного восстановления);
- VI – период возрастания за счёт эмоционально-волевого усилия (фаза конечного порыва);
- VII – период прогрессивного снижения работоспособности и эмоционально-волевого напряжения (фаза декомпенсации).

Фаза мобилизации длится в пределах от 10 до 30 минут и включает в себя активизацию всех энергетических ресурсов, долговременной и кратковременной памяти, разрешение наиболее вероятных проблемных ситуаций, возникающих вначале работы, планирование тактики и стратегии поведения.

Фаза гиперкомпенсации длится в диапазоне от 1 до 1,5 часа и характеризуется поиском энергетически оптимального режима деятельности для приспособления к конкретным условиям работы и формирования чёткого динамического стереотипа.

Фаза компенсации длится в диапазоне от 2 до 2,5 часов и характеризуется достижением баланса и стабильности в соотношении энергетических затрат и восстановительных процессов. На данной фазе наблюдается наиболее высокая эффективность труда.

Фаза субкомпенсации длится около часа и характеризуется использованием резервных психофизиологических ресурсов, при котором происходит перестройка работы функциональных систем: мобилизация наиболее важных функций поддерживается за счёт ослабления контроля над менее важными. При игнорировании отдыха и продолжении рабочей деятельности возникает стремительный рост утомляемости.

Фаза нормативного восстановления в большинстве случаев длится от 45 минут до 1 часа и представляет собой перерыв на отдых, в течение которого в зависимости от условий происходит частичное или полное восстановление работоспособности пользователя.

Фаза конечного порыва наблюдается в течение 10-30 минут в конце рабочего дня и представляется в виде кратковременного всплеска работоспособности. Фаза характеризуется срочной мобилизацией через мотивационную сферу дополнительных сил организма, некоторым эмоциональным подъёмом, притуплением чувства усталости и повышением работоспособности.

Фаза декомпенсации наступает вследствие естественной усталости людей, уровень резервной работоспособности перестаёт соответствовать основным требованиям деятельности, что приводит к снижению, как второстепенных показателей деятельности, так и основных. Данная фаза характеризуется нарушением точности и координации движений, появлением большого количества ошибок в работе, за которыми наступают более выраженные ухудшения функций внимания, памяти и мышления. Основным мотивом становится прекращение рабочей деятельности.

Исследователями [10-15] на основе наблюдений предложена диаграмма колебаний уровня работоспособности операторов организационных систем в течение трудового дня (Рис.1).

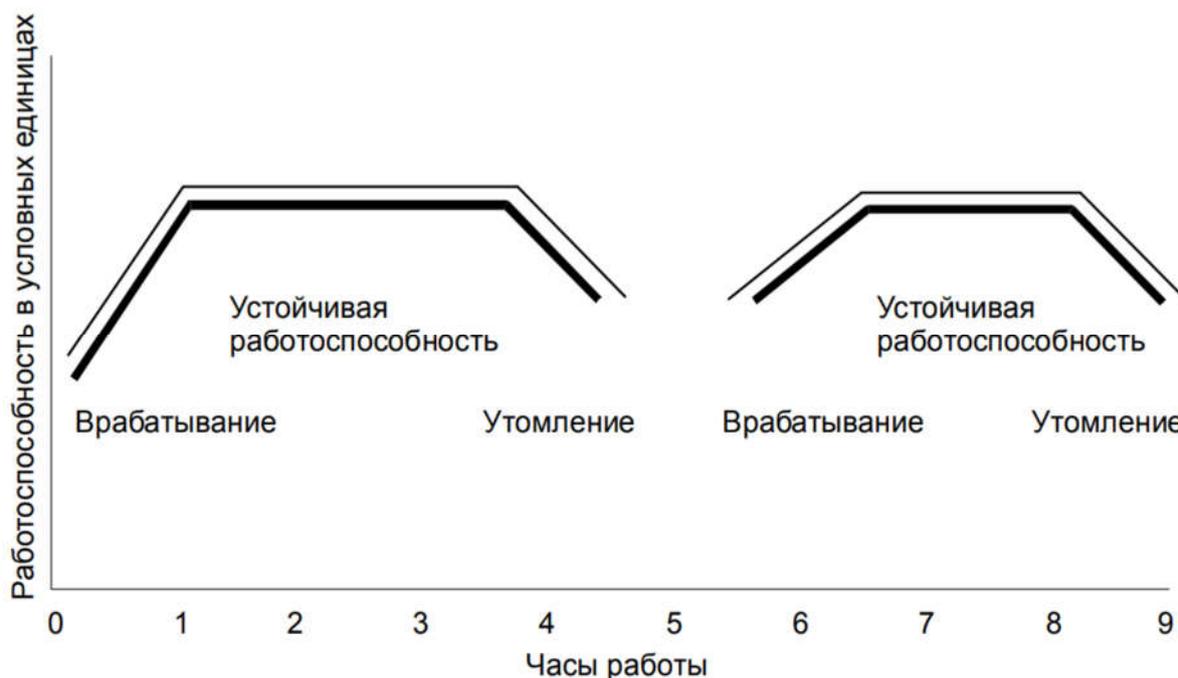


Рис.1. Колебания уровня работоспособности в течение трудового дня

Данная диаграмма (Рис.1) не подтверждена какими-либо расчётами и является лишь теоретическими умозаключениями авторов [10-12, 16-18].

Материалы и методы исследования

Исходя из описанных выше исследований [10-12, 16-18] автором настоящей статьи предложено следующее соотношение временных диапазонов и фаз работоспособности в течение среднестатистической рабочей смены операторов организационных систем, Табл.1.

Табл.1. Соответствие временного диапазона фазам работоспособности

Временной диапазон	Фаза работоспособности
09:00 – 09:30	I Мобилизация
09:30 – 10:30	II Гиперкомпенсация
10:30 – 12:30	III Компенсация
12:30 – 13:00	IV Субкомпенсация
13:00 – 14:00	V Нормативное восстановление
14:00 – 14:30	I Мобилизация (2)
14:30 – 15:30	II Гиперкомпенсация (2)
15:30 – 17:30	III Компенсация (2)
17:30 – 18:00	IV Субкомпенсация (2)
18:00 – 18:30	VI Конечный порыв
18:30 – ...	VII Декомпенсация

Как можно заметить из Табл.1 некоторые фазы повторяются, что связано с перерывом на отдых пользователей (фаза «Нормативного восстановления») в связи с чем предлагается во избежание путаницы повторяющиеся фазы до отдыха именовать фазами первого уровня, а фазы после отдыха соответственно второго уровня.

Для вычисления работоспособности пользователей ПП в определённой фазе автором настоящей статьи предложена оригинальная формула, учитывающая характеристики пользователей и ГПИ, особенности труда на компьютере и специфику взаимодействия с ГПИ:

$$W_{use} = \left((1 - ((Kg_v + V_v + M_v) * k_{gen} * k_{int} * k_{age})) * \frac{B_s * B_m}{k_{ftg}} \right) * 100 \quad (1)$$

где: W_{use} – работоспособности пользователей ПП (измеряется в процентах); k_{gen} – коэффициенты работоспособности относительно пола пользователей; k_{int} – коэффициенты работоспособности относительно уровня компьютерной грамотности пользователя; k_{age} – коэффициенты работоспособности относительно возраста пользователя; Kg_v – когнитивная нагрузка; V_v – визуальная нагрузка; M_v – моторная нагрузка; B_s – нагрузка вратываемости; B_m – нагрузка монотонности; k_{ftg} – коэффициент утомляемости.

Значения коэффициентов работоспособности относительно пола пользователей k_{gen} , их уровня компьютерной грамотности k_{int} и возраста k_{age} планируется получить в следующих научных работах автора настоящей статьи путём проведения эксперимента.

Пути вычисления когнитивной Kg_v , визуальной V_v и моторной M_v нагрузок в формализованном виде будут представлены в последующих научных работах автора настоящей статьи при построении аналитических моделей по направлениям оценки: эффективности визуальной эстетики ГПИ; информативности ГПИ; эффективности персонализации ГПИ; согласованности информационно-функциональных элементов ГПИ; влияния внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия ГПИ.

В настоящей статье описан проведённый автором эксперимент, по результатам которого получены значения нагрузок вратываемости B_s и монотонности B_m , а также значения коэффициента утомляемости k_{ftg} на каждой фазе работоспособности.

Под нагрузкой вратываемости понимается трата ресурсов пользователя на активизацию энергетических ресурсов, долговременной и оперативной памяти, разрешение наиболее вероятных проблемных ситуаций, возникающих на начальных этапах трудовой деятельности, планирование

тактики и стратегии решения поставленной задачи, а также поиском энергетически оптимального режима функционирования для приспособления к конкретным условиям работы и формирования чёткого динамического стереотипа.

Под нагрузкой монотонности понимается трата ресурсов пользователей на решение поставленных задач в течении продолжительного времени и на поддержание на требуемом уровне режима деятельности, позволяющего обеспечивать требуемую результативность.

В эксперименте приняли участие 25 человек (13 мужчины и 12 женщин), в возрастном диапазоне от 18 до 45 лет. Эксперимент проводился в течение 3х недель по следующей схеме, Табл.2.

Табл.2. График проведения эксперимента над каждым испытуемым

Временной диапазон	Первая неделя				
	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница
09:00 – 09:30	х				
09:30 – 10:30		х			
10:30 – 12:30			х		
12:30 – 13:00				х	
13:00 – 14:00	–				
14:00 – 14:30					х
14:30 – 15:30	х				
15:30 – 17:30		х			
17:30 – 18:00			х		
18:00 – 18:30				х	
Временной диапазон	Вторая неделя				
	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница
09:00 – 09:30				х	
09:30 – 10:30	х				
10:30 – 12:30		х			
12:30 – 13:00			х		
13:00 – 14:00	–				
14:00 – 14:30				х	
14:30 – 15:30					х
15:30 – 17:30	х				
17:30 – 18:00		х			
18:00 – 18:30			х		
Временной диапазон	Вторая неделя				
	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница
09:00 – 09:30			х		
09:30 – 10:30				х	
10:30 – 12:30	х				
12:30 – 13:00		х			
13:00 – 14:00	–				
14:00 – 14:30			х		
14:30 – 15:30				х	
15:30 – 17:30					х
17:30 – 18:00	х				
18:00 – 18:30		х			

В Табл.2 отмечены дни недели и время проведения эксперимента, например, в первую неделю над одним испытуемым проводилось во вторник первой недели два измерения, первый раз с 09:30 до 10:30, во второй раз с 15:30 до 17:30. Данные диапазоны и их привязка к разным дням рабочей недели

выбраны по причине исключения переутомления испытуемых, а также получения более точных данных, не зависящих от дня недели (при обобщении информации, полученные значения за три недели на определённом временном промежутке усреднялись).

В течение заданного на эксперимент времени испытуемый должен был набирать на слух текст в программе «Microsoft Word», который воспроизводился с помощью аудио проигрывателя. По истечению временного интервала оценивались два показателя:

- средняя скорость набора знаков в минуту;
- количество допущенных ошибок в набранном тексте (автоматическая проверка ошибок в программе «Microsoft Word» на время эксперимента была отключена).

В результате проведённого эксперимента были получены следующие данные (представленные данные уже обработаны методом усреднения за три недели), Табл.3.

Табл.3. Результаты эксперимента

Идентификатор испытуемого	Показатели оценки	Временной диапазон								
		09:00 – 09:30	09:30 – 10:30	10:30 – 12:30	12:30 – 13:00	14:00 – 14:30	14:30 – 15:30	15:30 – 17:30	17:30 – 18:00	18:00 – 18:30
1	Кол-во знаков	3101	6336	14785	2709	3312	7305	14434	3124	3168
	Кол-во ошибок	3	5	9	3	4	5	12	6	6
2	Кол-во знаков	3009	6825	14489	2809	3123	7124	13543	3284	3567
	Кол-во ошибок	4	8	10	4	5	6	11	5	4
3	Кол-во знаков	2976	6456	14005	3032	2997	6892	13985	3458	3602
	Кол-во ошибок	3	5	8	3	3	5	12	4	5
4	Кол-во знаков	2998	6721	14378	2991	3129	7023	14125	3109	3537
	Кол-во ошибок	5	6	9	2	3	4	10	5	5
5	Кол-во знаков	3012	6514	14587	2895	3401	7097	14321	3207	3498
	Кол-во ошибок	2	4	6	3	4	5	11	6	4
6	Кол-во знаков	2897	7073	14498	3013	3434	6893	14112	3428	3278
	Кол-во ошибок	3	6	7	4	2	6	9	5	5
...	Кол-во знаков	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Кол-во ошибок	...	...	...	...	...	...	...	...	...
25	Кол-во знаков	2723	6414	14572	3046	3219	6854	13989	3256	3128
	Кол-во ошибок	3	7	8	3	3	5	7	6	5
Общее среднее	Кол-во знаков в минуту	98,64	110,33	120,61	97,59	107,69	117,11	117,27	108,88	113,22
	Кол-во	3,28	2,92	2,03	3,14	3,42	3,57	2,57	5,28	4,85

	ошибок за 30 минут									
--	--------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

В последней строке Табл.3 «Общее среднее» представлены средние значения по всем испытуемым, принявшим участие в эксперименте. В подстроке «Кол-во знаков в минуту» представлена средняя скорость печати пользователей (знаков в минуту) на каждой фазе рабочей смены. В подграфе «Кол-во ошибок за 30 минут» указано среднее количество ошибок пользователей за 30 минут работы на каждой фазе рабочей смены.

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

– наиболее высокая скорость печать пользователей наблюдалась в третьей фазе (компенсации) до перерыва на отдых, также в этой фазе отмечено меньшее количество ошибок, которые допускали пользователи;

– в фазах первого уровня «Мобилизации», «Гиперкомпенсации» «Компенсации», а также фазах второго уровня «Гиперкомпенсации» и «Компенсации» нагрузка монотонности отсутствует, по причине небольшого интервала времени работы с начала отдыха, в связи, с чем данный показатель принимается равным единицы, для исключения влияния на результаты вычислений работоспособности;

– в фазах первого уровня «Компенсации», «Субкомпенсации», а также фазах второго уровня «Компенсации», «Субкомпенсации» и фазе «Конечный порыв» нагрузка вратываемости отсутствует по причинам уже разрешённым к тому времени проблемным ситуациям по планированию тактики и стратегии выполнения должностных обязанностей, выбора оптимального режима деятельности и полноценно функционирующей когнитивно-психологической системы пользователя, в связи с чем данный показатель принимается равным единицы, для исключения влияния на результаты вычислений работоспособности;

– в фазах первого уровня «Мобилизации», «Гиперкомпенсации» «Компенсации» и фазе второго уровня «Мобилизации» коэффициент утомляемости принимается равным единицы, по причине достаточного количества энергетических ресурсов для соответствия пользователей основным требованиям деятельности. Далее происходит постепенное увеличение значения данного коэффициента в связи с естественной тратой пользователем своих ресурсов и снижением его функциональных возможностей.

Результаты исследования и их обсуждение

Исходя из полученных данных, определены значения нагрузок вратываемости и монотонности, а также коэффициента утомляемости на каждой фазе работоспособности, Табл.4.

Табл.4. Значения нагрузок и коэффициента

Временной диапазон	Фаза работоспособности	B_s	B_m	k_{ftg}
09:00 – 09:30	I Мобилизация	0,5	1	1
09:30 – 10:30	II Гиперкомпенсация	0,63	1	1
10:30 – 12:30	III Компенсация	1	1	1
12:30 – 13:00	IV Субкомпенсация	1	0,58	1,1
14:00 – 14:30	I Мобилизация (2)	0,65	1	1
14:30 – 15:30	II Гиперкомпенсация (2)	0,8	1	1,1
15:30 – 17:30	III Компенсация (2)	1	0,9	1,15
17:30 – 18:00	IV Субкомпенсация (2)	1	0,62	1,2
18:00 – 18:30	VI Конечный порыв	1	0,75	1,25

На основе полученных значений нагрузок и коэффициентов в каждой фазе работоспособности (Табл.4), а также предложенной автором формулы (1) появляется возможность визуализировать в виде графика идеальную кривую динамики работоспособности при отсутствии воздействия на пользователей нагрузок ГПИ ($Kg_v = 0, V_v = 0, M_v = 0$), (Рис.2).

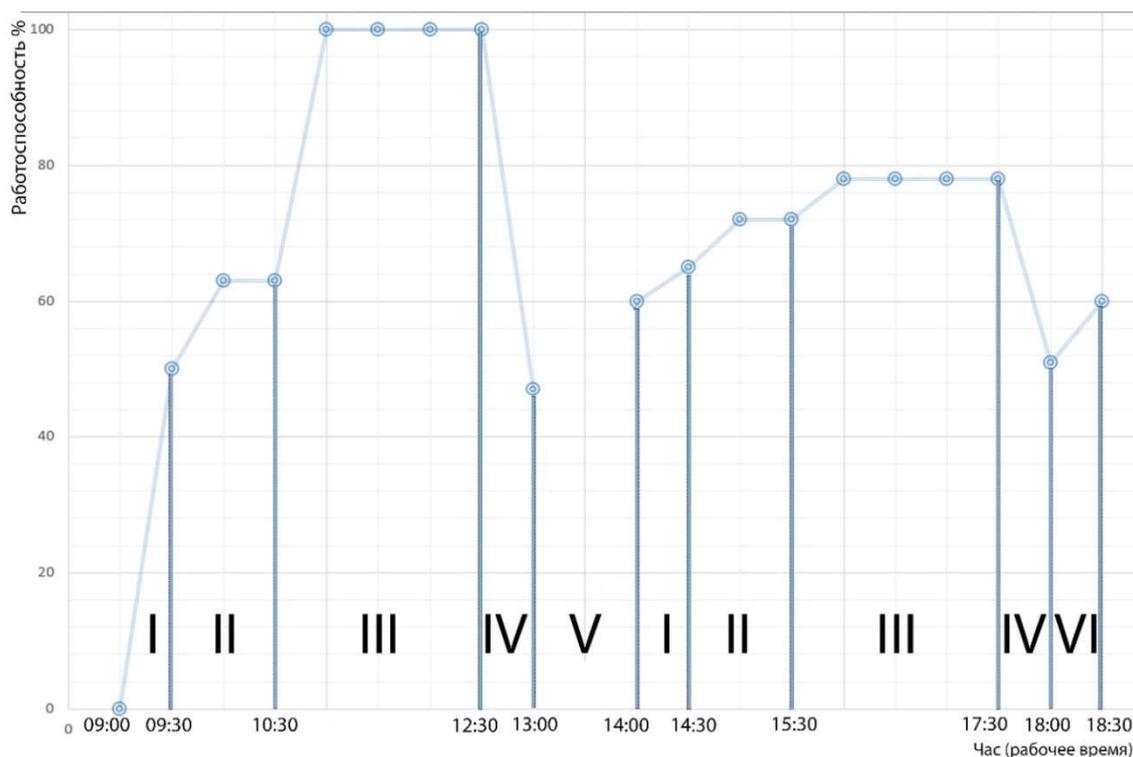


Рис.2. Динамика работоспособности при отсутствии нагрузок ГПИ

Данный график может быть использован для анализа нагрузок ПП при построении поверх него графика учитывающего характеристики ГПИ и пользователей. Вычисленная площадь фигуры между графиками и будет характеризовать величину воздействия на работоспособность операторов организационных систем нагрузок ГПИ.

Заключение

Как показали результаты проведённого в статье эксперимента на работоспособность операторов ПП организационных систем помимо эффективности ГПИ влияют когнитивно-психологические характеристики (пол, уровень компьютерной грамотности, возраст) и внешние факторы (нагрузки вратываемости и монотонности, коэффициент утомляемости). Учёт данных компонентов позволяет проводить вычисления, результаты которых должны использоваться для оценки и сравнения эффективности ГПИ аналогичных по функциональному наполнению и предназначению ПП, а также оценки и выбора наилучших рабочих композиций. Всё это позволит повысить работоспособность операторов организационных систем, оптимизировать имеющиеся ресурсы (выбор только необходимых и эффективных ПП, модернизация рабочих композиций) и сократить финансовые затраты (приобретение только качественных, прошедших сравнительный анализ ПП).

Также в статье установлены связи между эффективностью ГПИ и работоспособностью пользователей в анализируемых ПП; определены составляющие работоспособности; предложена оригинальная формула вычисления данного показателя. В состав формулы вычисления работоспособности вошли как характеристики ГПИ (когнитивная, визуальная и моторная нагрузки) и пользователей (коэффициенты работоспособности относительно пола пользователей; уровня их компьютерной грамотности пользователя и возраста), так и характеристики воздействия внешних факторов (нагрузки вратываемости и монотонности, а также коэффициент утомляемости).

Список источников

1. Хасанова Н.Н., Агиров А.Х., Даутов Ю.Ю., Филимонова Т.А. Особенности развития утомления у профессионалов пользователей при работе на компьютере и его профилактика // Вестник

Адыгейского государственного университета. Серия: Естественно-математические и технические науки. 2013. № 2 (119). С. 88-97.

2. Вострых А.В. Метод и алгоритмы многокритериальной оценки графических пользовательских интерфейсов программных продуктов МЧС России // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2022. № 4 (40). С. 57-64.

3. Уэйншенк С. 100 главных принципов дизайна. Как удержать внимание // СПб.: Питер, 2011. 272 с.

4. Норман Д.А. Эмоциональный дизайн: почему мы любим (или ненавидим) повседневные вещи // Basic Books, 2005. 272 с.

5. Вострых А.В. Модель описания элементов информационных систем, ориентированных на человеко-машинное взаимодействие // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2021. № 11. С. 23-30.

6. Вострых А.В. Метод оценки эффективности графических пользовательских интерфейсов программных продуктов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2022. № 10. С. 19-28.

7. Круг С. Веб-дизайн, или Не заставляйте меня думать! // М.: Символ-Плюс, 2008. 216 с.

8. Раскин Д. Интерфейс Новые направления в проектировании компьютерных систем // М.: Символ, 2007. 257 с.

9. Науменко О.А., Шарипова М.Н. Работоспособность человека: методические указания к лабораторной работе // Оренбургский гос. ун-т. –Оренбург: ОГУ, 2010. 19 с.

10. Матвеев Л.П. Проблема периодизации спортивной тренировки // М.: Физкультура и спорт, 1965. 243 с.

11. Харабуга С.Г. Суточный ритм и работоспособность // М.: Знание, 2006. 144 с.

12. Антропова М.В. Работоспособность учащихся и ее динамика в процессе учебной и трудовой деятельности // М.: Просвещение, 1967. 251 с.

13. Жан-Кристоф Х., Филипп Н., Мишель С., Жан-Франсуа Т., Франсуа Д. Влияние изменений распределения интенсивности на производительность и количественную оценку тренировочных нагрузок. Biol Sport. 2018; 35 (1): 67-74. [DOI: 10.5114/biol sport.2018.70753].

14. Макдональд А.К., Мулла Д.М., Кейр П.Дж. Мышечная и кинематическая адаптация к утомительной повторяющейся работе верхних конечностей // Appl Ergon. 2019. Iss. 75. PP. 250-256. [DOI: 10.1016/j.apergo.2018.11.001].

15. Хасанова Н.Н., Трохимчук Л.Ф., Филимонова Т.А. Оценка функционального состояния организма студентов в условиях работы на компьютере // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4. Естественно-математические и технические науки. 2012. С. 69-75.

16. Джао Н.К., Робинсон Л.Д., Келли П.Дж., Цецьерски К.К., Хитсман Б. Нездоровое поведение и состояние психического здоровья у студентов колледжей США // J Am Coll Health. 2018. 28. PP. 1-11. [DOI: 10.1080/07448481.2018.1515744].

17. Белякова Т.Б. Предупреждение переутомления студентов в образовательном процессе как педагогическое понятие // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия. Образование. Педагогические науки. 2010. 36 (212). С. 12-15.

18. Блаше Г., Сабо Б., Вагнер-Менгхин М., Экмекчиоглу К., Голлнер Э. Сравнение вмешательств в отдых и перерывы во время выполнения умственно сложной задачи. Здоровье от стресса. 2018. 34 (5). PP. 629-638. [DOI: 10.1002/smi.2830].

References

1. Khasanova N.N., Agirov A.H., Dautov Yu.Yu., Filimonova T.A. Features of the development of fatigue in professional users when working on a computer and its prevention // Bulletin of the Adygea State University. Series: Natural, mathematical and technical sciences. 2013. № 2 (119). PP. 88-97.

2. Vostrykh A.V. Method and algorithms of multicriteria evaluation of graphical user interfaces of software products of the Ministry of Emergency Situations of Russia // National Security and strategic planning. 2022. № 4 (40). PP. 57-64.

3. Waynshank S. 100 main principles of design. How to keep your attention // S. Weinshank. – St. Petersburg: Peter, 2011. – 272 p.

4. Norman D.A. Emotional design: why we love (or hate) everyday things // D.A. Norman. – Moscow: Basic Books, 2005. – 272 p.

5. Vostrykh A.V. A model for describing the elements of information systems focused on human-machine interaction // *Devices and systems. Management, control, diagnostics*. 2021. № 11. PP. 23-30.
6. Vostrykh A.V. A method for evaluating the effectiveness of graphical user interfaces of software products // *Devices and systems. Management, control, diagnostics*. 2022. № 10. PP. 19-28.
7. Krug S. *Web design, or Don't make me think!* // M.: Symbol-Plus, 2008. 216 p.
8. Raskin D. *Interface New directions in the design of computer systems* // M.: Symbol, 2007. 257 p.
9. Naumenko O.A., Sharipova M.N. *Human performance: guidelines for laboratory work* // Orenburg State University. Orenburg: OSU, 2010. 19 p.
10. Matveev L.P. *The problem of periodization of sports training* // second edition M.: Physical culture and sport, 1965. 243 p.
11. Kharabuga S.G. *Daily rhythm and efficiency* // *Znanie*, 2006. – 144 p.
12. Antropova M.V. *Student performance and its dynamics in the process of educational and labor activity* // M.: Prosveshchenie, 1967. – 251 p.
13. Jean-Christophe H., Philippe N., Michel S., Jean-Francois T., Francois D. The effect of changes in intensity distribution on performance and quantitative assessment of training loads // *Biol Sport*. 2018. 35(1). PP. 67-74. [DOI: 10.5114/biolSport.2018.70753].
14. MacDonald A.S., Mulla D.M., Kir P.J. Muscular and kinematic adaptation to tedious repetitive work of the upper extremities // *Appendix Ergon*. 2019. Iss. 75. PP. 250-256. [DOI: 10.1016/j.apergo.2018.11.001].
15. Khasanova N.N., Trokhimchuk L.F., Filimonova T.A. Assessment of the functional state of the body of students in computer work // *Bulletin of the Adygea State University. Series 4. Natural, mathematical and technical sciences*. 2012. 1. PP. 69-75.
16. Zhao N.K., Robinson L.D., Kelly P.J., Checherski K.S., Hitsman B. Classification of unhealthy behavior and the state of mental health of college students in the United States // *International Health Community*, 2018. 28. PP. 1-11. [DOI: 10.1080/07448481.2018.1515744].
17. Belyakova T.B. Prevention of overwork of students in the educational process as a pedagogical concept // *Bulletin of the South Ural State University. Series. Education. Pedagogical sciences*. 2010. 36 (212). PP. 12-15.
18. Blache G., Szabo B., Wagner-Mengin M., Ekmekcioglu S., Gollner E. Comparison of rest breaks during the performance of a mentally difficult task // *Health from stress*. 2018. 34 (5). PP. 629-638. [DOI: 10.1002/smi.2830].

Информация об авторах

А.В. Вострых - кандидат технических наук

Information about the author

A.V. Vostrykh- Ph.D. of Engineering Sciences

Статья поступила в редакцию 27.07.2024; одобрена после рецензирования 20.08.2024; принята к публикации 30.08.2024.

The article was submitted 27.07.2024, approved after reviewing 20.08.2024, accepted for publication 30.08.2024.

Научная статья
УДК 614.849
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.79.76.027

Проблемы управления при взаимодействии территориального органа МЧС России с органами исполнительной власти субъекта РФ в период пожароопасного сезона

*Маргарита Петровна Григорьева*¹

*Сергей Александрович Смирнов*²

¹Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Россия, ORCID: 0000-0003-3634-7842

²ГУ МЧС России по Волгоградской области, г. Волгоград, Россия

Автор ответственный за переписку: Маргарита Петровна Григорьева, margarita.theone@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные проблемы взаимодействия территориального органа МЧС России с органами исполнительной власти субъекта Российской Федерации в условиях подготовки, прохождения и анализа пожароопасного сезона (на примере реагирования на природные пожары) и даны краткие предложения по усовершенствованию элементов и связей системы взаимодействия. Исследование и диагностика проблем проводилось с применением инструментов системного подхода. Особое внимание уделено исследованию структуры взаимодействия, способов его реализации, а также проблемам организационно-управленческого характера, возникающих при необходимости координации множества элементов системы обеспечения пожарной безопасности региона. Представлен граф взаимодействия территориального органа МЧС России с органами исполнительной власти субъекта Российской Федерации в условиях подготовки, прохождения и анализа пожароопасного сезона, а также алгоритм взаимодействия функциональных и территориальных подсистем РСЧС при реагировании на природные пожары. В материалах статьи также описан практический опыт взаимодействия ГУ МЧС России по Волгоградской области с органами исполнительной власти субъекта Российской Федерации.

В качестве результатов работы отмечается обобщение проблемных вопросов, требующих решения на региональном уровне, формализация процесса взаимодействия территориального органа МЧС России с органами исполнительной власти субъекта Российской Федерации в рамках подготовки, прохождения и анализа пожароопасного периода в субъекте Российской Федерации.

Ключевые слова: природные пожары, пожароопасный период, особый противопожарный режим, подсистема РСЧС

Для цитирования: Григорьева М.П., Смирнов С.А. Проблемы управления при взаимодействии территориального органа МЧС России с органами исполнительной власти субъекта РФ в период пожароопасного сезона // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 30–43. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.79.76.027>.

Original article

MANAGEMENT PROBLEMS IN INTERACTION OF TERRITORIAL BODY OF EMERCOM OF RUSSIA WITH EXECUTIVE AUTHORITIES OF SUBJECT OF RUSSIAN FEDERATION DURING THE FIRE SEASON

*Margarita P. Grigorieva*¹

*Sergey A. Smirnov*²

¹State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia, ORCID: 0000-0003-3634-7842

²Emercom of Russia for Volgograd region, Volgograd, Russia

Corresponding author: Margarita P. Grigorieva, margarita_theone@mail.ru

Abstract. The article considers the main problems of interaction between territorial body of Emercom of Russia and executive authorities of subject of Russian Federation in the conditions of preparation, passage and analysis of the fire season (including response to natural fires) and provides brief suggestions for improving the elements and links of the interaction system. The research and diagnosis of problems was carried out using the tools of a systematic approach. Special attention is paid to the study of structure of interaction, ways of its implementation, as well as organizational and managerial problems that arise when it is necessary to coordinate many elements of region fire safety system. The graph of interaction of territorial body of Emercom of Russia with executive authorities of subject of Russian Federation in the conditions of preparation, passage and analysis of the fire season, as well as the algorithm of interaction of functional and territorial subsystems of Emercom of Russia in responding to natural fires is presented. The materials of the article also describe the practical experience of interaction of Emercom of Russia in Volgograd region with executive authorities of subject of Russian Federation.

The results of the work include a generalization of problematic issues that need to be resolved at the regional level, formalization of the process of interaction between the territorial body of Emercom of Russia and executive authorities of subject of Russian Federation in the framework of preparation, passage and analysis of the fire-hazardous period in the subject of Russian Federation.

Keywords: wildfires, fire-hazardous period, special fire protection regime, subsystem of emergency situations

For citation: Grigorieva M.P., Smirnov S.A. Management problems in interaction of territorial body of Emercom of Russia with executive authorities of subject of Russian Federation during the fire season // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2024. № 3 (34) С. 30-43. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.79.76.027>.

Введение

Современное общество сталкивается с рядом вызовов в области обеспечения пожарной безопасности. Чрезвычайные ситуации, такие как пожары, стихийные бедствия и другие чрезвычайные события, могут нанести серьезный ущерб как жизни и здоровью граждан, так и экономике региона. В этом контексте важным является эффективное взаимодействие между органами МЧС России и органами исполнительной власти на региональном уровне.

Взаимодействие территориального органа МЧС России и органов исполнительной власти субъекта РФ регулируется Указом Президента Российской Федерации от 2.07.2005 № 773 «Вопросы взаимодействия и координации деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и территориальных органов федеральных органов исполнительной власти» [1], Постановлением Правительства РФ от 5 декабря 2005 г. № 725 «О взаимодействии и координации деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и территориальных органов федеральных органов исполнительной власти» [2], Федеральным законом от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» и другими федеральными законами и нормативно-правовыми актами РФ.

Ответственность за организацию взаимодействия и координации деятельности органов исполнительной власти субъекта РФ возложена на высшее должностное лицо субъекта Российской Федерации (руководителя высшего исполнительного органа государственной власти субъекта

Российской Федерации). Основная же функция территориального органа МЧС России в соответствии с Приказом МЧС России от 27.03.2020 № 217 (ред. от 23.01.2023) "Об утверждении Положения о территориальном органе Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий": «обеспечивать координацию деятельности органов повседневного управления РСЧС и гражданской обороны (в том числе управления силами и средствами РСЧС, силами и средствами гражданской обороны), организации информационного взаимодействия федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации ... в том числе с использованием автоматизированной информационно-управляющей системы РСЧС» [3].

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 5 декабря 2005 г. № 725 «О взаимодействии и координации деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и территориальных органов федеральных органов исполнительной власти» взаимодействие территориальных органов с органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации осуществляется в следующих формах:

- а) планирование и реализация совместных мероприятий;
- б) подготовка предложений по совершенствованию законодательства Российской Федерации и законодательства субъектов Российской Федерации;
- в) обмен информацией, необходимой для реализации полномочий органов исполнительной власти и предоставляемой в установленном порядке;
- г) иные формы, предусмотренные соглашениями между федеральными органами исполнительной власти и органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации» [2].

При этом, в каждом регионе может быть применен различный опыт реализации указанных форм и полномочий, описанных как в Положении, так и других нормативных документах.

Тема взаимодействия территориального органа МЧС России и органов исполнительной власти соответствующего субъекта Российской Федерации в сфере обеспечения пожарной безопасности является актуальной и широко обсуждаемой в современной литературе и научных исследованиях [4-8].

Однако на момент начала данного исследования, существует ряд проблем, которые все еще нуждаются в исследовании: недостаточное количество алгоритмов согласованных действий, учитывающих специфику региона и особенности прохождения пожароопасного периода; динамично изменяющаяся внешняя и внутренняя среды системы управления функциональными и территориальными подсистемами РСЧС; ускоряющийся рост информационных связей между субъектами взаимодействия.

Подходы к организации взаимодействия

Взаимодействие принято рассматривать, как категорию, отличающуюся от «координации», «содействия», «взаимопомощи» и др. Характерной особенностью процесса взаимодействия являются влияние различных объектов друг на друга и их взаимная обусловленность.

Исследование процесса взаимодействия территориального органа МЧС России и органов исполнительной власти субъекта РФ предполагает анализ способов реализации взаимодействия, его содержания и структуры. Ниже представлен краткий обзор некоторых современных методов и практических подходов к подобному взаимодействию. Данный обзор позволяет в последующем выделить те отношения, которые возникают внутри системы:

1. *Интеграция усилий.* Взаимодействие МЧС и органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации основано на потребности интеграции всех направлений деятельности, реализующих основные функции системы обеспечения пожарной безопасности. Преодоление чрезвычайных ситуаций, включая природные катастрофы, пожары, стихийные бедствия и другие угрозы, требует создания площадок для взаимодействия и инструментов управления процессами при взаимодействии.

2. *Совместные учения и тренировки.* Регулярные совместные учения и тренировки помогают МЧС и органам исполнительной власти субъектов РФ согласовывать действия и улучшать координацию в экстренных ситуациях. Это также позволяет оценивать эффективность планов и процедур.

3. *Информационное взаимодействие.* Информационные системы и технологии играют важную роль в современном взаимодействии. Создание общих информационных платформ и баз данных позволяет оперативно обмениваться информацией о текущей ситуации и ресурсах.

4. *Межведомственное сотрудничество.* МЧС и органы исполнительной власти сотрудничают с другими ведомствами, такими как полиция, медицинские службы и военные, для обеспечения комплексного реагирования на различные угрозы.

5. *Обучение и повышение квалификации.* Постоянное обучение и повышение квалификации персонала важны для соблюдения современных стандартов и передовых методов реагирования на чрезвычайные ситуации.

6. *Создание региональных и местных планов.* В рамках федеральных и региональных стратегий разрабатываются региональные и местные планы предотвращения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

7. *Коммуникация с населением.* МЧС активно взаимодействует с населением через информационные кампании и средства массовой информации, чтобы подготовить население к действиям в чрезвычайных ситуациях.

Анализ и совершенствование этих методов и подходов позволяют обеспечивать более эффективное и согласованное взаимодействие между ГУ МЧС России и органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации.

Проблемы организации взаимодействия при тушении природных пожаров на примере Волгоградской области

С конца 90-х годов на территории Волгоградской области наблюдается значительное количество природных пожаров, достигшее своего пика в 1998 году. Несмотря на стабилизацию управленческой деятельности и экономики тенденция периодического роста природных пожаров сохраняется с 2000-х годов (в среднем, на территории области происходит 30 природных пожаров ежегодно с охватом площади в 516,95 Га).

Основные всплески количества крупномасштабных природных пожаров обусловлены не только климатическими условиями, связанными с повышенным температурным фоном, сильной ветровой нагрузкой и длительным отсутствием осадков, но и несовершенством системы управления.

Более подробные количественные значения природных пожаров приведены в Табл.1. Статистические данные о количестве природных пожаров и переходов на населенные пункты отобраны из аналитических отчетов ГУ МЧС России по Волгоградской области.

Табл.1. – Статистические данные о количестве природных пожаров и переходов на населенные пункты за период 2010 - 2023 гг.

Год	Количество пожаров	Переходы на н.п.	Площадь
2010	1419	10	2136,55
2011	1333	4	457,14
2012	1237	1	2230,97
2013	1237	0	2089,66
2014	1290	1	1747,17
2015	1265	6	699,12
2016	1295	1	999,6
2017	1292	17	939,075
2018	794	1	287,17
2019	9	0	247,07
2020	33	0	1143,29
2021	17	0	123,9
2022	13	0	449,2

2023	56	0	816,76
------	----	---	--------

До 2009 – 2011 годов система управления по тушению природных пожаров была организована через диспетчера пожарной части (Рис.1).

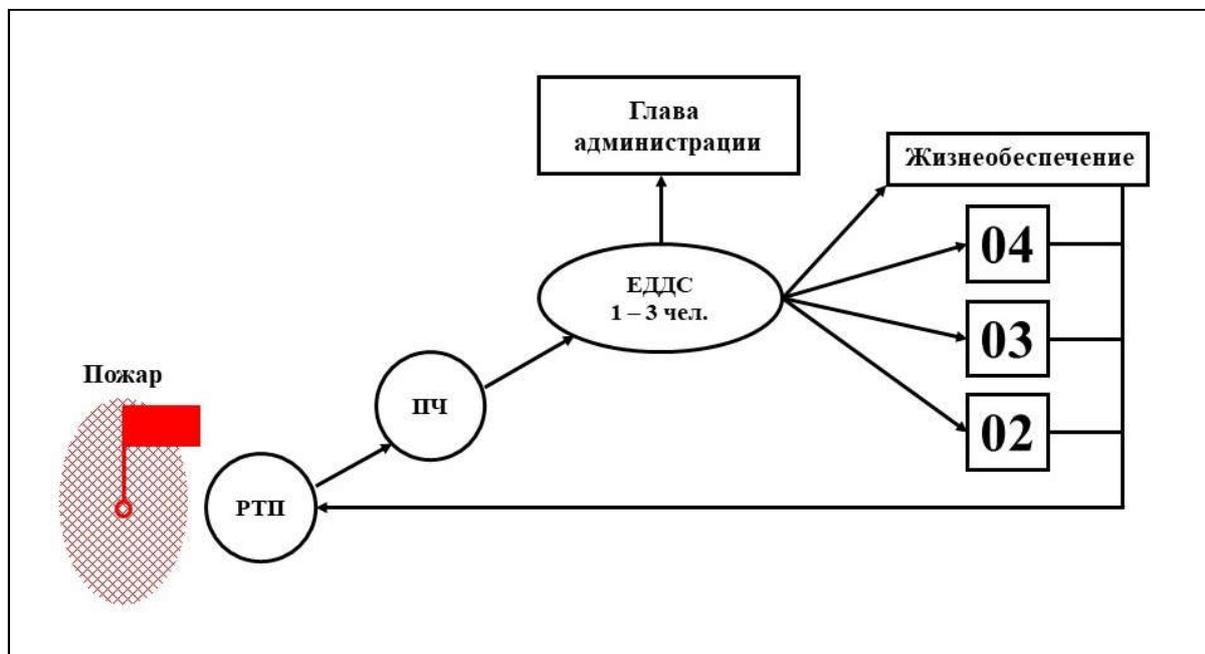


Рис.1. Организация взаимодействия экстренных служб при тушении природного пожара через диспетчера ПЧ

В соответствии с действующим на тот момент законодательством, у диспетчера отсутствовали полномочия по координации и управлению дополнительными силами и средствами, а их привлечение осуществлялось в рамках заключенных соглашений о сотрудничестве и взаимодействии. В соответствии с соглашениями, аварийно-диспетчерские службы должны были направлять к месту пожара аварийные бригады для принятия экстренных мер по выполнению работ, сопутствующих ликвидации пожара. Соглашениями не были закреплены временные рамки привлечения дополнительных сил и средств и их состав.

В случае возникновения необходимости усиления группировки по решению РТП, диспетчер ПЧ затрачивал значительное время, сообщая в диспетчерские службы о необходимости привлечения аварийных бригад, которые в итоге могли не прибывать оперативно к месту пожара по той или иной причине. У диспетчера ПЧ отсутствовала общая актуальная информация о группировке, которую можно было привлечь дополнительно для ликвидации природных пожаров.

В виду отсутствия на тот момент в органах местного самоуправления единого органа управления, функционирующего в круглосуточном режиме, привлечение от них дополнительных сил в нерабочее время осуществлялось через руководство ОМСУ с большой временной задержкой.

Все это приводило к невозможности своевременного выполнения работ, необходимых для эффективной ликвидации природных пожаров, увеличению их площади и большим материальным и зачастую человеческим жертвам.

Отсутствие четкой линии информационного обмена и системы управления привело к последствиям, которые до сих пор в памяти каждого сотрудника Главного управления МЧС России по Волгоградской области, принимавших участие в ликвидации природных пожаров в 2010 году.

В период со 2 по 4 сентября 2010 года из-за неблагоприятных климатических условий (сильный ветер), неосторожного обращения с огнем неустановленных лиц, а также в ходе проведения сельскохозяйственных работ в 6 муниципальных районах области произошли крупномасштабные ландшафтные пожары, приведшие к возгоранию строений в населенных пунктах. Режим ЧС был

введен на территории 5 муниципальных районов: (Руднянский, Котовский, Жирновский, Даниловский, Камышинский). Территории 14 муниципальных районов: (Алексеевский, Дубовский, Городищенский, Еланский, Иловлинский, Киквидзенский, Михайловский, Нехаевский, Новоанинский, Новониколаевский, Ольховский, Среднеахтубинский, Урюпинский, Фроловский) объявлены зонами, на которых возможно возникновение ЧС, обусловленных природными пожарами и введен особый противопожарный режим.

Отмечались случаи перехода огня на населенные пункты только из-за того, что тушение пожара происходило на большом удалении от водоемов, а ОМСУ и организации, с которыми были заключены соглашения, не обеспечили усиление группировки автоцистернами для своевременного подвоза воды.

В 2010–2011 годах начался этап формирования централизованной системы управления силами и средствами через единый орган управления – единая дежурно-диспетчерская служба муниципального образования. На первоначальном этапе ЕДДС создавались на базе ПЧ, что в итоге было пересмотрено, и ЕДДС были созданы на базе администраций муниципальных районов и городских округов. У ЕДДС, как органа повседневного управления, появились полномочия на управление всеми силами и средствами муниципального звена территориальной подсистемы, и координация действий при тушении природных пожаров стала осуществляться через ЕДДС.

С момента создания ЕДДС и до настоящего времени не разработано единого механизма сбора и обработки массива данных, включающих фактические метеорологические условия и сведения по силам и средствам, а управление подразделениями происходит в «ручном режиме» руководителями, непосредственно при факте чрезвычайной ситуации.

Основной объем информационного обмена между органами повседневного управления органов местного самоуправления и территориального органа МЧС России осуществляется путем заполнения формализованных документов в офисных приложениях и их передача посредством клиента электронной почты. Сбор и обобщение этих сведений на каждом уровне системы РСЧС осуществляется в ручном режиме. Зачастую именно такой устаревший метод передачи данных является причиной задержки информации и, как следствие, низкой эффективности управления.

Основными недостатками существующего информационного обмена являются:

1. Отсутствие возможности передачи сведений в режиме онлайн в вышестоящий орган управления, т.к. на каждом уровне необходимо время на сбор, обработку и обобщение информации для ее передачи;
2. Отсутствие возможности расширения диапазона показателей в связи с высокими трудозатратами на сбор и обработку информации в ручном режиме;
3. Человеческий фактор. Ошибки на этапе обобщения информации при внесении ее в формализованный документ;
4. Проблема хранения и наращивания массивов данных.

Фактически, существующая модель сбора информации направлена только на ликвидацию происшествий, но не на их предотвращение, а эффективно управлять рисками, не имея полной картины, просто невозможно.

В 2021 году с целью усиления роли и значения начальников местных гарнизонов пожарной охраны в комиссиях по предупреждению, ликвидации ЧС и обеспечению ПБ районов вводится должность заместителя председателя КЧС по вопросам обеспечения ПБ.

В Постановление Правительства РФ № 794 в редакции от 10.12.2021 вносятся изменения:

«Для оценки обстановки, координации сил единой системы в зонах чрезвычайных ситуаций, подготовки проектов решений, направленных на ликвидацию чрезвычайных ситуаций, при комиссиях по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности субъектов Российской Федерации создаются постоянно действующие оперативные штабы;

Постоянно действующие оперативные штабы возглавляют руководители территориальных органов Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» [9].

В настоящее время в соответствии с Указом Президента РФ «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» [10] - реализуется цифровая трансформация системы антикризисного управления путем внедрения информационного ресурса по обмену оперативной и плановой информацией между органами управления муниципального, регионального и федерального уровней – «Личный кабинет ЕДДС». Данная информационная система является частью автоматизированной информационно-управляющей системы (АИУС РСЧС).

Развитие информационных технологий в системе взаимодействия

Создание эффективного алгоритма взаимодействия требует комплексного подхода, который объединяет технологические инновации, профессиональную подготовку, стандартизацию процессов, постоянный мониторинг и анализ информации. На Рис.2 представлен граф взаимодействия территориального органа МЧС России с органами исполнительной власти субъекта РФ. В качестве узлов графа А - F рассмотрены различные субъекты взаимодействия при подготовке и прохождении пожароопасного периода.

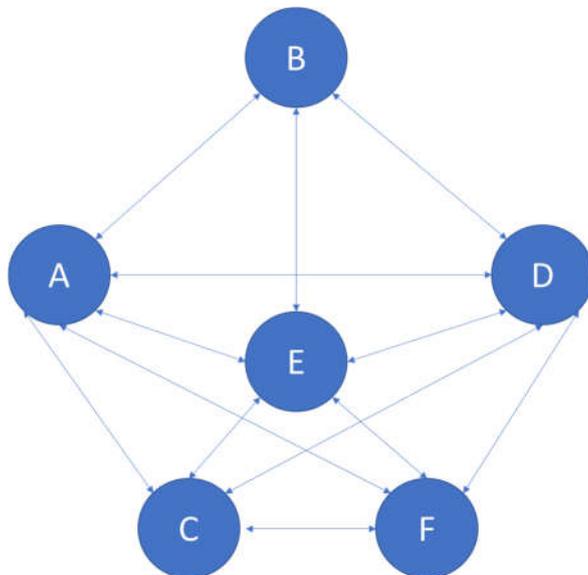


Рис.2. – Граф взаимодействия Главного управления МЧС России по субъекту РФ с органами исполнительной власти субъекта РФ.

Табл.2. – Субъекты взаимодействия при подготовке и прохождении пожароопасного периода

Наименование	Характеристика	Роль	Связи
Узел А	Главное управление МЧС России по субъекту РФ	Координация и управление чрезвычайными ситуациями.	Все остальные узлы
Узел В	Органы исполнительной власти субъекта РФ	Политическое руководство, регулирование и предоставление ресурсов.	Узел А (МЧС), Узел Е (Информационные системы), Узел F (Общественность и СМИ)
Узел С	Силы и средства	Непосредственное реагирование на чрезвычайные ситуации (пожары, спасательные операции).	Узел А (МЧС), Узел D (Координационные центры)

Узел D	Координационные центры	Обеспечение эффективного взаимодействия и коммуникации между структурами	Все узлы, кроме Узла F
Узел E	Информационные и технологические системы	Сбор, анализ и распространение данных для оперативного реагирования и планирования	Все узлы
Узел F	Общественность и СМИ	Информационная поддержка, обеспечение обратной связи и социальной стабильности	Узел B (Органы власти), Узел A (МЧС)

Наибольшее внимание привлекает узел D (координационные центры), в состав которого могут входить: комиссии по чрезвычайным ситуациям и обеспечения пожарной безопасности субъектового и муниципального уровней, центры управления в кризисных ситуациях и т.д. Уменьшения времени на получение и обработку информации о ЧС можно добиться при помощи создания интегрированной единой платформы для всех узлов графа с предоставлением полномочий координационным центрам по управлению информацией.

Основным предложением по развитию системы взаимодействия территориальных органов МЧС России и органов исполнительной власти субъектов РФ может стать внедрение единого центра оперативного реагирования на базе интегрированной информационной платформы КСА «ЕЦОР», информационной системы АИУС РСЧС и ситуационного центра главы субъекта РФ (Рис.3).

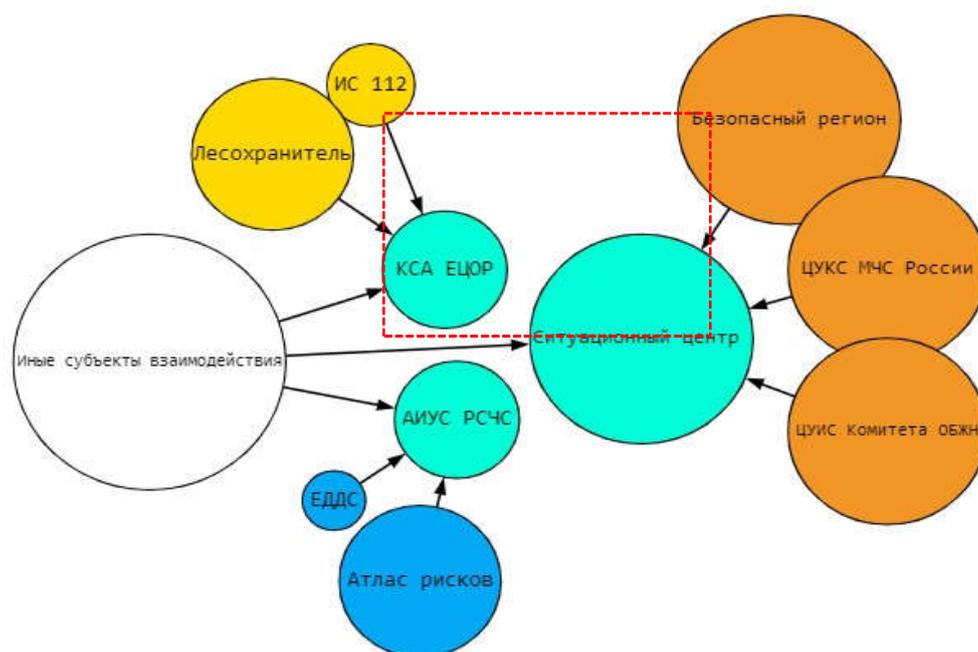


Рис.3. Участок графа взаимодействия основных субъектов с применением единой платформы

Внедрение современной информационной платформы позволяет иметь в режиме «единого окна» не только сведения о силах и средствах в границах муниципальных образований, но и заранее знать о рисках, сценариях развития событий при неблагоприятных погодных явлениях, осуществлять мониторинг пожарной обстановки при помощи модуля «Термические точки МЧС России».

Абстрактный уровень описания процессов взаимодействия на этапе подготовки к пожароопасному периоду представлен на Рис.4. Контекстная диаграмма описывает процесс установления особого противопожарного режима, результатом которого является нормативный документ главы органа исполнительной власти субъекта РФ. При этом, входящий поток может быть охарактеризован как данные об обстановке с пожарами за прошлые пожароопасные периоды. В качестве управляющих потоков рассматриваются регламенты, планы и требования федерального

и регионального законодательства. Механизмом исполнения могут выступать органы исполнительной власти субъекта РФ.

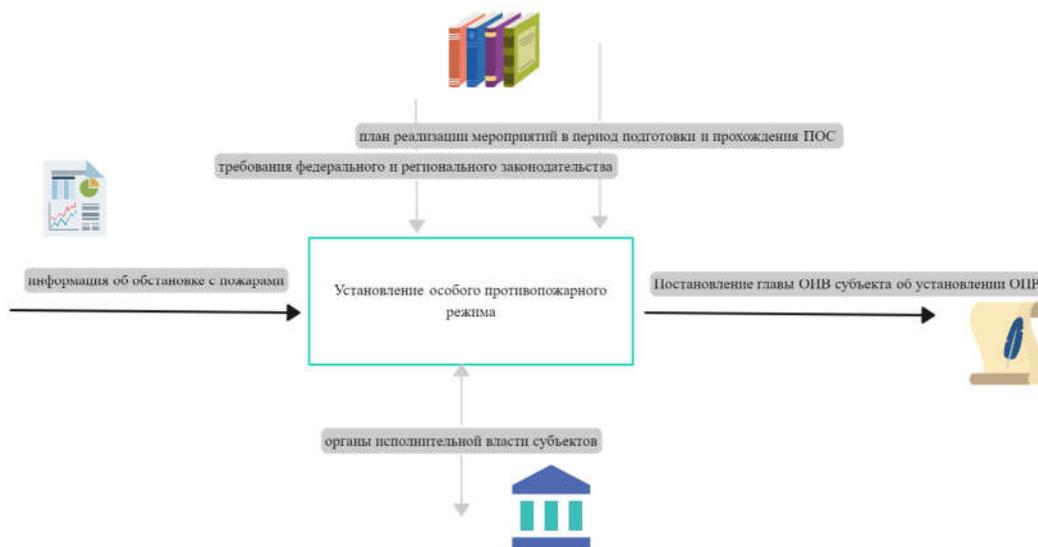


Рис.4. Контекстная диаграмма процесса установления противопожарного режима на уровне субъекта РФ

При декомпозиции функционального блока количество связей и исполнителей очевидно увеличивается. При этом, мы сможем отследить некоторую общность с узлом координационных центров.

Все это позволяет существенно сократить время реализации управленческих решений по привлечению необходимой группировки сил и средств, как для ликвидации возможных ЧС, так и для выполнения превентивных мероприятий для недопущения их возникновения.

В рамках выполненной работы разработана блок-схема поддержки управления пожарной безопасностью субъекта РФ в рамках подготовки, прохождения и оценки последствий пожароопасного периода (Рис.6).

Блок-схема включает в себя последовательность мероприятий и алгоритмов действий, необходимых для успешного преодоления 5 стадий пожароопасного периода (подготовка, прохождение, последствия и анализ пожароопасного периода, выработка управленческих решений по минимизации рисков). Один из подобных алгоритмов посвящен проблеме взаимодействия сил и средств функциональной и территориальной подсистем РСЧС при реагировании на природные пожары (Рис.5).

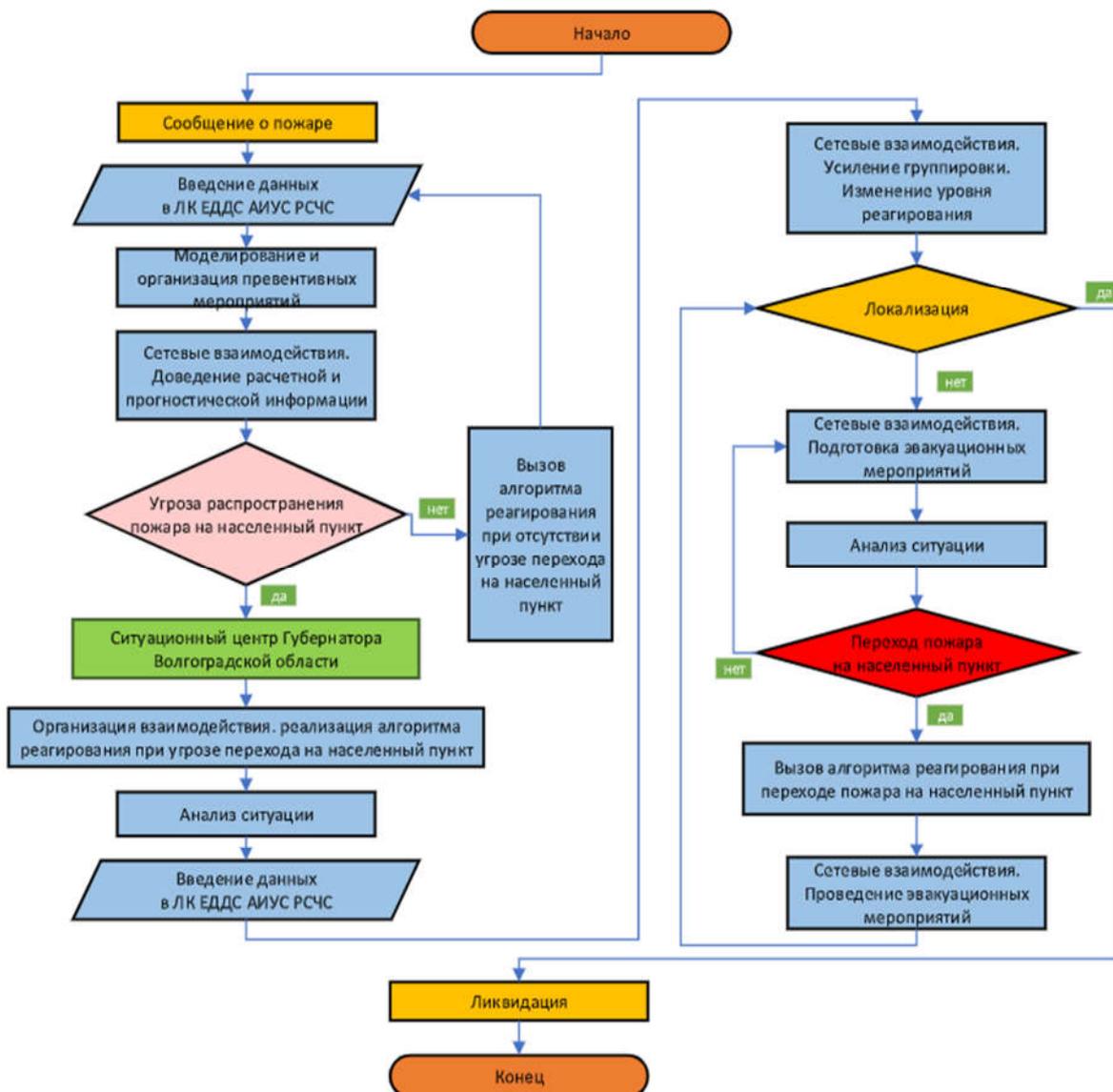


Рис.5. Алгоритм взаимодействия сил и средств функциональной и территориальной подсистем РСЧС при реагировании на природные пожары.

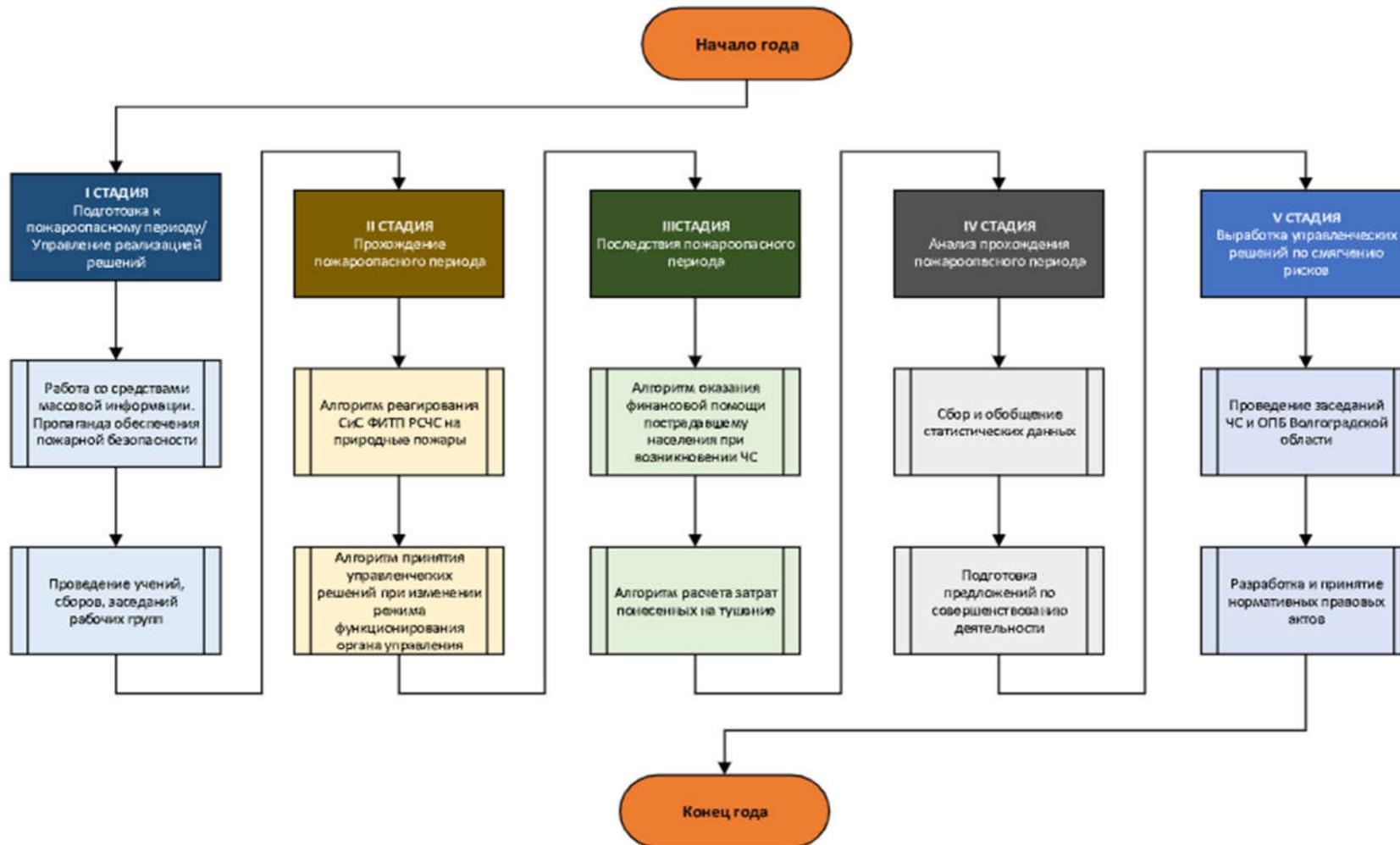


Рис.6. Блок-схема разработки алгоритмов поддержки управления пожарной безопасностью субъекта РФ в рамках подготовки прохождения и оценки последствий пожароопасного периода

Заключение

Анализ процессов, структуры и способов реализации взаимодействия между Главным управлением МЧС России по субъекту РФ и органами исполнительной власти субъекта РФ позволяет выделить основные направления деятельности по совершенствованию исследуемой системы:

1. **Создание единого ситуационного центра субъекта РФ:** ключевым аспектом улучшения взаимодействия является разработка и внедрение интегрированной информационной системы на базе уже имеющихся информационных систем АИУС РСЧС и КСА «ЕЦОР»;
2. **Применение процессного подхода к управлению информационными потоками:** регулярное оценивание эффективности существующих алгоритмов и их корректировка на основе обратной связи и анализа прошлых ситуаций, многоуровневое планирование с применением современных систем BPM и CRM, стандартизация процессов;
3. **Оптимизация информационных потоков:** минимизация связей между субъектами взаимодействия в условиях ЧС за счет допущения умеренной децентрализации.

Список литературы:

1. Вопросы взаимодействия и координации деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и территориальных органов федеральных органов исполнительной власти: Указ Президента РФ от 02.07.2005 № 773 (ред. от 31.12.2021) // справочно-правовая система «КонсультантПлюс»: сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_54272/ (дата обращения 13.06.2024).
2. О взаимодействии и координации деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и территориальных органов федеральных органов исполнительной власти: Постановление Правительства РФ от 05.12.2005 № 725 (ред. от 08.12.2008) // справочно-правовая система «КонсультантПлюс»: сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_56941/5e480268ab97fcb598cd4b4cd8f3a4d8e5df82c/ (дата обращения 13.06.2024).
3. Об утверждении Положения о территориальном органе Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: Приказ МЧС России от 27.03.2020 № 217 (ред. от 23.01.2023) // справочно-правовая система «КонсультантПлюс»: сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_357859/ (дата обращения 13.06.2024).
4. Антюхов В.И. Моделирование процесса интеллектуальной поддержки деятельности должностных лиц центров управления в кризисных ситуациях МЧС России при принятии управленческих решений / Антюхов В.И., Остудин Н.В. // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". 2017. № 2. С. 78-93. – EDN ZRPWPF.
5. Топольский Н.Г. Методы, модели и алгоритмы в системах безопасности: машинное обучение, робототехника, страхование, риски, контроль / Топольский Н.Г., Вилисов В.Я.: ООО "Издательский Центр РИОР", 2021. – 475 с. – ISBN 978-5-369-02072-2. – DOI 10.29039/02072-2. – EDN XJPGSH.
6. Ражников С.В. Информационно-аналитическая поддержка управления оповещением населения при ландшафтных (природных) пожарах // Сибирский пожарноспасательный вестник. 2023. № 2 (29). С. 95-106. URL: <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.80.48.006> (дата обращения 13.06.2024).
7. Анализ технологий мониторинга природных пожаров в России: обзор / Семенов А.О. [и др.] // Научный форум: Инновационная наука: сборник статей по материалам VI международной научно-практической конференции. М., 2017. – С. 34–38.
8. Ражников С.В. Информационно-аналитическая поддержка управления оповещением населения при ландшафтных (природных) пожарах // Сибирский пожарноспасательный вестник. 2023. № 2 (29). С. 95-106. URL: <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.80.48.006> (дата обращения 13.06.2024).
9. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года: Указ Президента РФ от 07.05.2024 № 309 // справочно-правовая система «КонсультантПлюс»: сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_475991/ (дата обращения 13.06.2024).

10. О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: Постановление Правительства Российской Федерации от 30.12.2003 № 794 // справочно-правовая система «КонсультантПлюс»: сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_45914/492eda9f08b2b56e284a2ab0b4c8d3719f3a2585/ (дата обращения 13.06.2024).

Referencies

1. Issues of interaction and coordination of activities of executive bodies of the constituent entities of the Russian Federation and territorial bodies of federal executive bodies: Decree of the President of the Russian Federation of 02.07.2005 №. 773 (as amended on 31.12.2021) // reference and legal system "ConsultantPlus": website. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_54272/ (date of access 13.06.2024).

2. On interaction and coordination of activities of executive bodies of the constituent entities of the Russian Federation and territorial bodies of federal executive bodies: Resolution of the Government of the Russian Federation of 05.12.2005 No. 725 (as amended on 08.12.2008) // reference and legal system "ConsultantPlus": website. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_56941/5e480268ab97fcb598cd4b4cd8f3adbea5df82c/ (date of access 13.06.2024).

3. On approval of the Regulation on the territorial body of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters: Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated March 27, 2020 №. 217 (as amended on January 23, 2023) // reference and legal system "ConsultantPlus": website. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_357859/ (date of access 06.13.2024).

4. Antyukhov V.I. Modeling of the process of intellectual support for the activities of officials of management centers in crisis situations of the Ministry of Emergency Situations of Russia in making managerial decisions / Antyukhov V.I., Ostudin N.V. // Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia". - 2017. – №. 2. – pp. 78-93. – EDN ZRPWPF.

5. Topolsky N.G. Methods, models and algorithms in security systems: machine learning, robotics, insurance, risks, control / Topolsky N.G., Vilisov V.Ya.: RIOR Publishing Center LLC, 2021. – 475 p. – ISBN 978-5-369-02072-2. – DOI 10.29039/02072-2. – EDN XJPGSH.

6. Razhnikov S.V. Information and analytical support for managing population notification during landscape (natural) fires // Siberian fire and rescue bulletin. 2023. №. 2 (29). pp. 95-106. URL: <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.80.48.006> (date of access 13.06.2024).

7. Analysis of technologies for monitoring wildfires in Russia: review / Semenov A.O. [et al.] // Scientific forum: Innovative science: a collection of articles based on the materials of the VI International scientific and practical conference. Moscow, 2017. - pp. 34-38.

8. Razhnikov S.V. Information and analytical support for managing population notification during landscape (natural) fires // Siberian fire and rescue bulletin. 2023. №. 2 (29). pp. 95-106. URL: <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.80.48.006> (date of access 13.06.2024).

9. On the national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030 and for the future up to 2036: Decree of the President of the Russian Federation of 05/07/2024 №. 309 // reference and legal system "ConsultantPlus": website. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_475991/ (date of access 06.13.2024).

10. On the unified state system for the prevention and elimination of emergency situations: Resolution of the Government of the Russian Federation of 30.12.2003 №. 794 // reference and legal system "ConsultantPlus": website. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_45914/492eda9f08b2b56e284a2ab0b4c8d3719f3a2585/ (date of access 13.06.2024).

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.07.2024; одобрена после рецензирования 20.08.2024; принята к публикации 30.08.2024.

The article was submitted 27.07.2024, approved after reviewing 28.08.2024, accepted for publication 30.08.2024.

Модель и алгоритмы распределения внутренних ресурсов в организационной системе

Маргарита Петровна Григорьева¹

Ольга Владимировна Кружкова²

Екатерина Сергеевна Кузнецова³

^{1,2,3} Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия,

¹<https://orcid.org/0000-0003-3634-7842>

²<https://orcid.org/0000-0001-6928-3502>

³<https://orcid.org/0000-0002-1052-0005>

Автор ответственный за переписку: Маргарита Петровна Григорьева, margarita_theone@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены механизмы распределения государственных ресурсов на содержание федеральных органов исполнительной власти в сложных условиях несбалансированности бюджетов и оптимизации финансирования для исполнения бюджетных полномочий в полном объеме, не снижая качества предоставления государственных услуг. Предложены модель и алгоритмы распределения ресурсов территориального органа федерального органа исполнительной власти (ФОИВ) на примере МЧС России.

Авторами рассмотрены ключевые особенности планирования и распределения ресурсов при осуществлении основных видов деятельности. В рамках исследования разработаны алгоритм планирования ресурсов на содержание территориального органа МЧС России, алгоритм распределения ресурсов на материально-техническое обеспечение, алгоритм распределения ресурсов в целях стимулирования личного состава, алгоритм планирования и проведения закупок. Разработанные алгоритмы становятся основой модели процесса распределения ресурсов на содержание территориального органа МЧС России.

Разработанная модель учитывает механизмы оптимального распределения ресурсов на основе математических моделей приоритетов и позволяет решать различные задачи оптимизации ресурсов по выбранной стратегии.

Ключевые слова: государственная услуга, федеральный орган исполнительной власти (ФОИВ), пожарная безопасность, управление финансами, государственные ресурсы

Для цитирования: Григорьева М.П., Кружкова О.В., Кузнецова Е.С. Модель и алгоритмы распределения внутренних ресурсов в организационной системе // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 44-58. <http://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.92.92.003>.

Original article

THE MODEL AND ALGORITHMS FOR THE ALLOCATION OF INTERNAL RESOURCES IN THE ORGANIZATIONAL SYSTEM

Margarita P. Grigorieva¹

Olga V. Kruzhkova²

Ekaterina S. Kuznetsova³

^{1,2,3} Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia,

¹<https://orcid.org/0000-0003-3634-7842>

²<https://orcid.org/0000-0001-6928-3502>

³<https://orcid.org/0000-0002-1052-0005>

Corresponding author: Margarita P. Grigorieva, margarita_theone@mail.ru

Abstract. The article considered mechanisms of allocation of state resources for the maintenance of federal executive authorities in the context of budget sequestration and optimization of financing for the full implementation of budgetary powers without reducing the quality of public services. A model and algorithms for the allocation of resources of a territorial body of the federal executive authority (FOIV) are proposed using the example of Emercom of Russia.

The authors consider the key features of resource planning and allocation in the implementation of the main types of activities. As part of the study, an algorithm for resource planning for the maintenance of the Main Directorate of Emercom of Russia in the subject of Russian Federation, an algorithm for allocating resources for the maintenance of equipment, an algorithm for allocating resources to stimulate personnel, an algorithm for planning and conducting purchases were developed. All the described algorithms become the basis for the model of resources allocating process for the maintenance of a territorial body of federal executive authorities on the example of the Main Directorate of Emercom of Russia for a subject of Russian Federation.

The developed model takes into account the mechanisms of optimal resource allocation based on mathematical models of priorities and allows solving various tasks of optimizing resources according to the chosen strategy.

Keywords: public service, public safety, fire safety, financial management, public resources

For citation: Grigorieva M.P., Kruzhkova O.V., Kuznetsova E.S. The model and algorithms for the allocation of internal resources in the organizational system // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2024. №. 3 (34). С. 44-58. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.92.92.003>.

Введение

Распределение внутренних ресурсов в организационной системе является важным и сложным процессом, который требует анализа и оптимизации. Особенно актуальным становится данный вопрос в условиях секвестрирования бюджетов и нехватки финансирования. В данной статье рассмотрены механизмы распределения государственных ресурсов на содержание федеральных органов исполнительной власти (ФОИВ) и проблемы, связанные с этим процессом. Модель и алгоритмы распределения ресурсов территориального органа (ТО) ФОИВ являются неотъемлемой частью данного процесса. Они позволяют определить, какие ресурсы необходимы для эффективной работы организации, и как их распределить наилучшим образом. Такие модели могут быть использованы в различных сферах деятельности ТО ФОИВ, включая МЧС России.

На сегодняшний день довольно большое количество работ посвящено данной теме. Интерес представляют работы по распределению ограниченных ресурсов, как в коммерческих, так и государственных организациях [1-8]. Ряд исследователей [9-14] пытались решить вопросы распределения ограниченных ресурсов в организационной системе на примере МЧС России, но, как правило, предложенные решения касались одного направления.

Под организационной системой (оргсистема, организация) понимают систему, включающую в себя различные ресурсы (Рис.1). К примеру, материальные и трудовые ресурсы, а также коллективы людей, интересы которых должны быть учтены при выполнении генеральной цели системы.

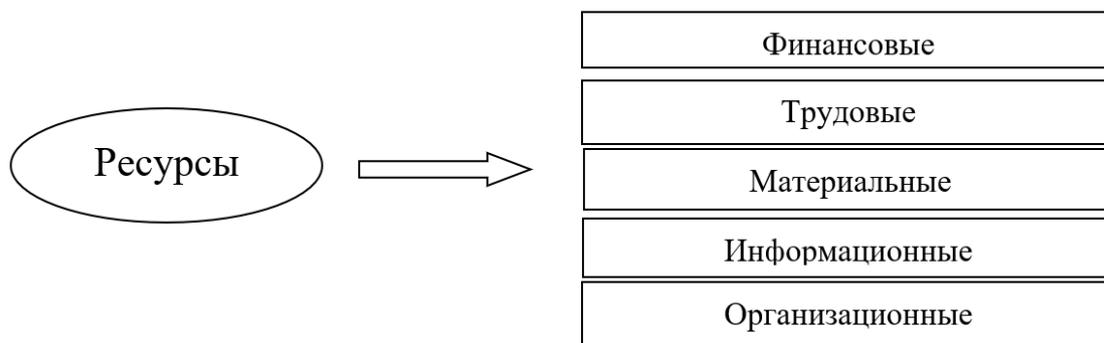


Рис.1. – Виды ресурсов ТО МЧС России

Формализация распределения ресурсов как известной оптимизационной задачи прежде всего базируется на теории игр. В данном исследовании авторы рассматривают ТО МЧС России как простую модельную оргсистему, которая состоит из центра (ГУ МЧС России по субъекту РФ) и элементов (организаций и учреждений, которые находятся в его подчинении), образующих единое множество. Управление подобной системой рассматривается в разрезе задачи распределения ресурсов.

Суть задачи сводится к следующему процессу: элементы (именуемые потребителями) формируют заявки на приобретение определенного количества ресурсов, центр же в свою очередь обрабатывает заявки и распределяет ресурс в соответствии с выбранной стратегией и механизмом. Наибольший интерес приобретает задача распределения ресурсов при их ограниченном количестве, либо перераспределения ресурсов между потребителями без потери качества оказываемых услуг.

Таким образом, имеется n потребителей, каждый из которых сообщает о своих предпочтениях центру. Количество требуемых ресурсов s_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Центр на основании заявок потребителей, имеющегося ресурса на текущий период R и выбранного правила, вычисляет объем ресурса, который может быть определен потребителю (Рис.2).

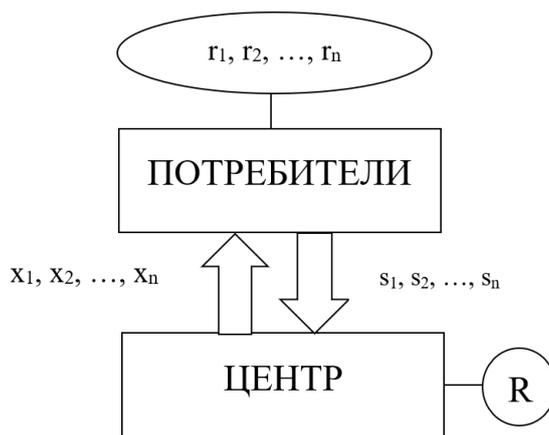


Рис.2. - Схема модели распределения ресурсов в организационной системе

В случае (1) наблюдается отсутствие дефицита, и ресурсы распределяются в соответствии с заявками потребителей.

$$\sum_{i=1}^n S_i \leq R \quad (1)$$

В случае выполнения неравенства (2) ресурсы должны быть распределены в соответствии с выбранным правилом, т.е. заявки превосходят по своим количественным параметрам имеющиеся ресурсы [15].

$$\sum_{i=1}^n S_i < R \quad (2)$$

Выделяют три механизма оптимального распределения ресурсов (Таблице 1), которыми могут пользоваться как коммерческие организации, так органы государственной власти.

Таблица 1 - Механизмы оптимального распределения ресурсов на базе математических моделей приоритетов

Механизм распределения	Краткое описание	Правило
<i>Механизм прямых приоритетов</i>	Весь ресурс делится без остатка, пропорционально параметру γ (отношение имеющегося ресурса к требуемому)	$x_i = \max \{S_i, \gamma_i A_i S_i\}, i = 1, 2, \dots, n$
<i>Механизм обратных приоритетов</i>	Ресурс распределяется в зависимости от предполагаемой эффективности реализации ресурса (минимальная заявка на ресурс обладает приоритетом)	$x_i = \min \{S_i, \gamma_i A_i / S_i\}, i = 1, 2, \dots, n$
<i>Конкурсный механизм</i>	Ресурс распределяется в зависимости от предполагаемой эффективности реализации ресурса (приоритетом обладает заявка потребителя с наибольшим показателем эффективности). Потребители с низкой эффективностью могут не получить ресурс	$E_i = \max \{e_i\}, i = 1, 2, \dots, n$

С учетом вышеизложенного авторами была предложена модель процесса распределения ресурсов, которая обобщает ряд алгоритмов и представлена на Рис.3.

Модель предполагает, что сформированная потребность в подразделениях МЧС России может быть рассмотрена как поток заявок на ресурсы. Выходом модели является заверченный процесс распределения ресурсов в соответствии с выбранной стратегией и правилом, заявки считаются обслуженными, а ресурсы распределенными.

Процесс включает 4 взаимосвязанных и равных по значимости алгоритма планирования и распределения ресурсов в сфере закупочных мероприятий, содержания материально-технической базы, территориального органа МЧС России, а также стимулирования персонала. Ключевой особенностью становится процесс формирования фондов экономии, резерва и стимулирования личного состава. Данный процесс отражает возможность перераспределения ресурсов без потери эффективности предоставления государственных услуг.

После формирования заявок на ресурсы и направления их в структурные подразделения, система обращается к блоку моделирования процесса распределения ресурсов. На этом этапе должен быть осуществлен выбор стратегии и механизма распределения ресурсов, а также критерия оптимизации процесса.

Блок алгоритмов распределения ресурсов, предназначенных для различных нужд подразделений ФПС ГПС МЧС России включает в себя последовательность действий сложной системы субъектов (территориального органа МЧС России по субъекту РФ, структурных и обеспечивающих подразделений) при планировании и распределении ресурсов по различным направлениям деятельности. Задача оптимального распределения ресурсов (распределения ресурса без остатка между всеми потребителями, без потери эффективности предоставляемых услуг, пропорционально заявке и имеющимся ресурсам) решается через формирование фондов экономии средств, поступающих из федерального бюджета.

Средства, поступившие в фонд экономии, распределяются по установленному механизму оптимального распределения ресурсов.

Выходом и результатом процесса является распределение ресурсов в двухуровневой оргсистеме по основным направлениям возникновения заявок на ресурсы.

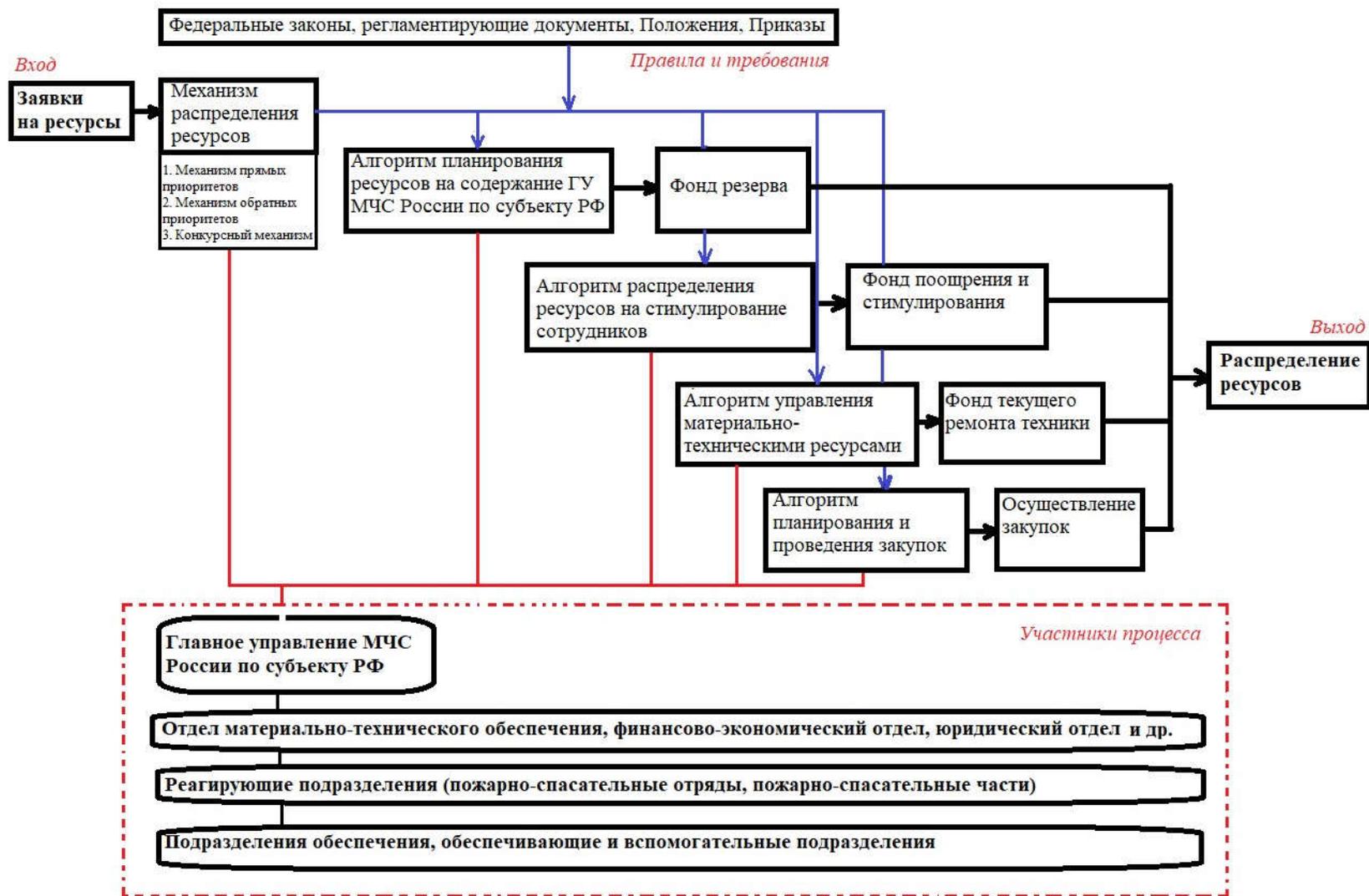


Рис.3. - Модель оптимального распределения ресурсов федерального органа исполнительной власти на примере территориального органа МЧС России

Рассмотрим на примере МЧС России особенности управления ресурсами, включая такую деятельность, как их планирование и распределение. При этом важно понимать, какие ресурсы непосредственно влияют на выполнение основных задач ТО МЧС России. Безусловно, важную роль играют финансовые ресурсы, под которыми понимается наличие бюджетных средств, фактически находящихся на счете Главного управления, используемых на финансовое обеспечение всей деятельности в текущем году. Планирование финансовых ресурсов на содержание Главного управления можно представить в виде алгоритма (Рис.4).

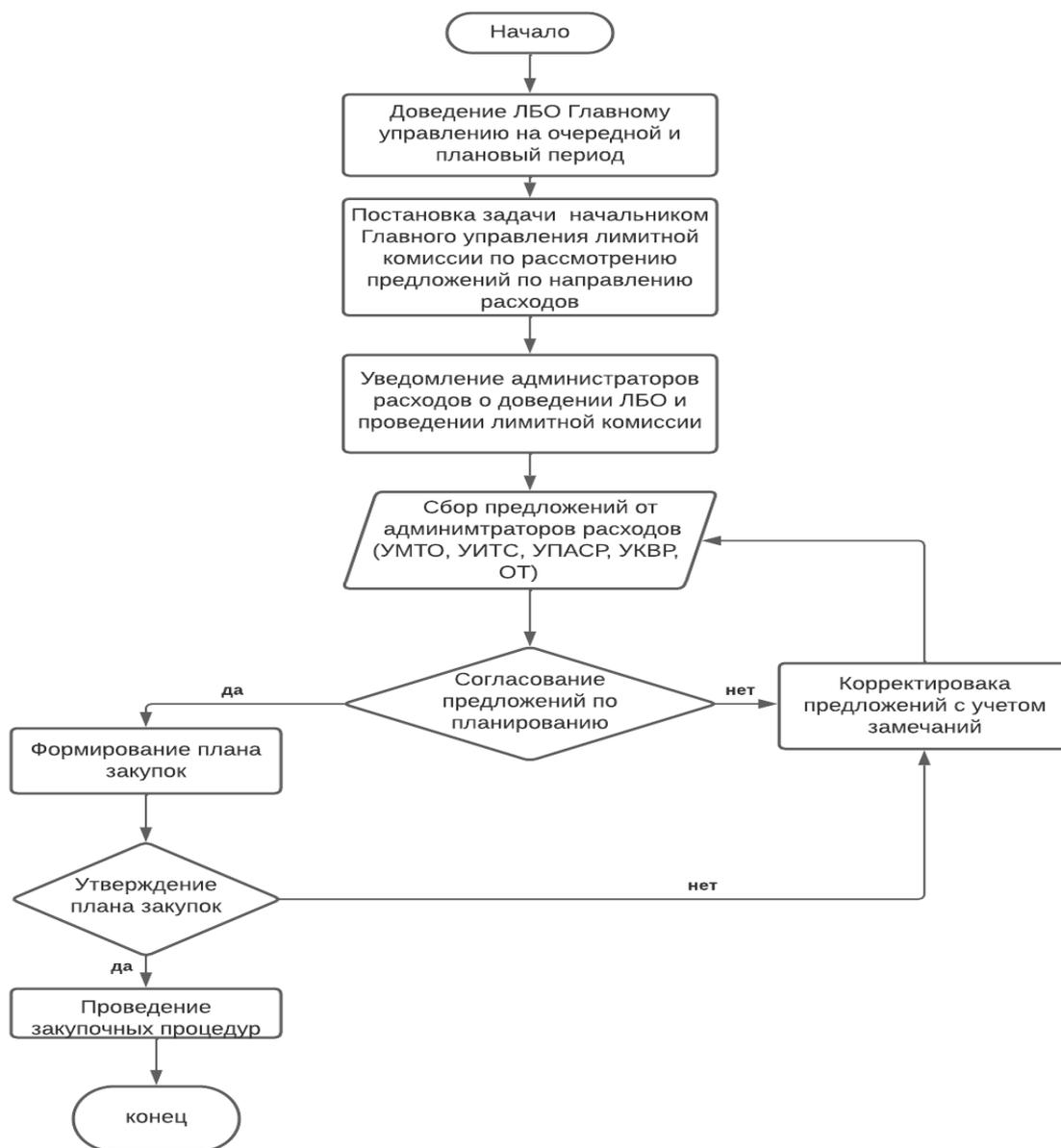


Рис.4. – Алгоритм планирования финансовых ресурсов на содержание ТО МЧС России

На заседании лимитной комиссии рассматриваются предложения по направлениям расходования каждого структурного подразделения Главного управления - администратора расходов. Предложения по расходованию рассматриваются с расчетами, обосновываются и защищаются. После обсуждения вопросов, касающихся распределения лимитов бюджетных обязательств, комиссией принимаются решения по направлениям расходования доведенных лимитов бюджетных обязательств. При обсуждении вопросов распределения лимитов бюджетных обязательств

учитывается степень первоочередности расходов, направленности на устойчивое функционирование Главного управления, выполнение задач по предназначению.

Составление и ведение бюджетной росписи Главного управления осуществляется в государственной интегрированной информационной системе управления общественными финансами «Электронный бюджет» Министерства финансов Российской Федерации. В системе «Электронный бюджет» ведется учет даты и времени поступления лимитов бюджетных обязательств, согласования и принятия решений по предложениям на внесение изменений в распределение бюджетных ассигнований.

В рамках доведенных финансовых ресурсов на обеспечение деятельности Главного управления, выполнение задач по предназначению, проведенных на основании всех расчетных данных с учетом нормативных потребностей государственных закупок, требуется правильно распределить материально-технические ресурсы между пожарно-спасательными подразделениями, таким образом, чтобы повысить их боевую готовность.

Алгоритм распределения материально-технических ресурсов представлен на Рис.5.

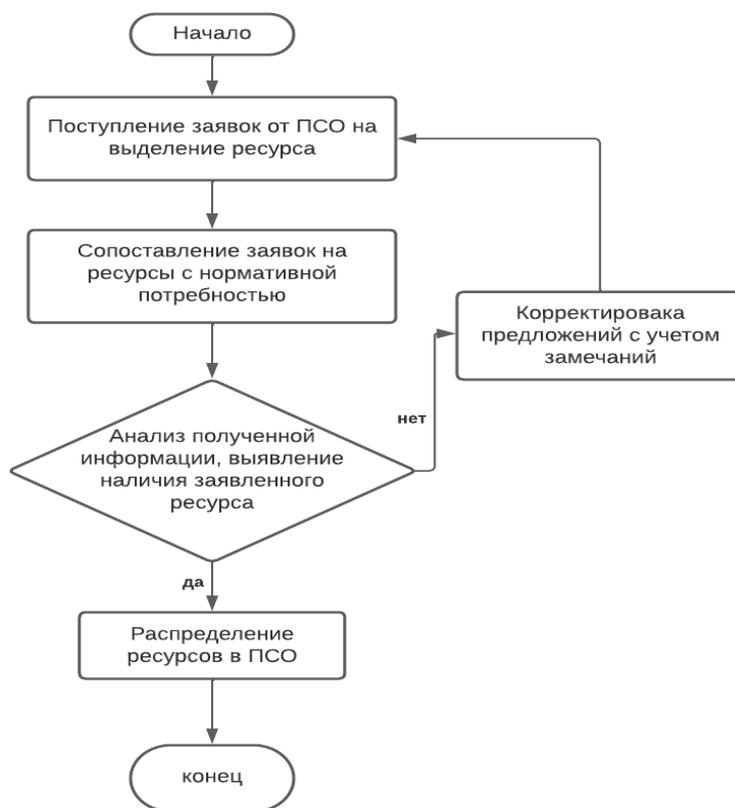


Рис.5. – Алгоритм распределения ресурсов на содержание техники в ТО МЧС России

На сегодняшний день, основной проблемой является то, что заявки на предоставление материально-технических ресурсов управлением материально-технического обеспечения не анализируются должным образом: не учитывается ранжирование техники, возможность ремонта в ремонтно-техническом центре Главного управления, не учитывается степень износа техники, количество новых образцов пожарной техники в подразделении, срок эксплуатации. В условиях ограниченного финансирования, условиях дефицита, когда суммарный объем заявок пожарно-спасательных отрядов превосходит имеющиеся в распоряжении ресурсы, возникает вопрос об эффективности распределения ресурсов. Очень сложно эффективно управлять данным процессом на основании недостоверной информации о потребности (например, завышении пожарно-спасательным отрядом потребности в том или ином ресурсе). Неэффективное распределение имеющихся ресурсов

может привести к образованию излишков у одних отрядов, и недообеспеченности у других. Необходим новый подход к обоснованию принимаемых решений (Рис.6).

Исчерпывающая информация по наличию автомобильной и специальной техники, плавсредствам представлена в информационной системе учета техники «Цифровая система учета технического состояния пожарной, спасательной, специальной и авиационной техники МЧС России». Поддержание данной информации в актуальном состоянии, своевременное внесение изменений являются ключевым моментом в принятии управленческого решения по распределению материально-технических ресурсов между пожарно-спасательными подразделениями Главного управления.

В соответствии с приказом МЧС России от 27.02.2020 № 124 «Об утверждении нормативных затрат на обеспечение функций Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, включая территориальные органы и подведомственные казенные учреждения» стоимость технического обслуживания и ремонта одного транспортного средства в год составляет для территориальных органов МЧС России – 25,00 тыс. руб. в год; затраты на приобретение 10 запасных частей для одного транспортного средства и единицы специальной техники - 100,00 тыс. руб. в год.

Предложенные алгоритмы имеют практическое применение и апробацию. При применении предложенного алгоритма (Рис.6) распределения материально-технических ресурсов, проведения ремонтных работ в ремонтно-техническом центре, рациональном использовании обменного фонда можно говорить о положительном эффекте в виде сокращения расходов на одну единицу транспортных средств и специальной техники до 30-50 тыс. руб. в год.

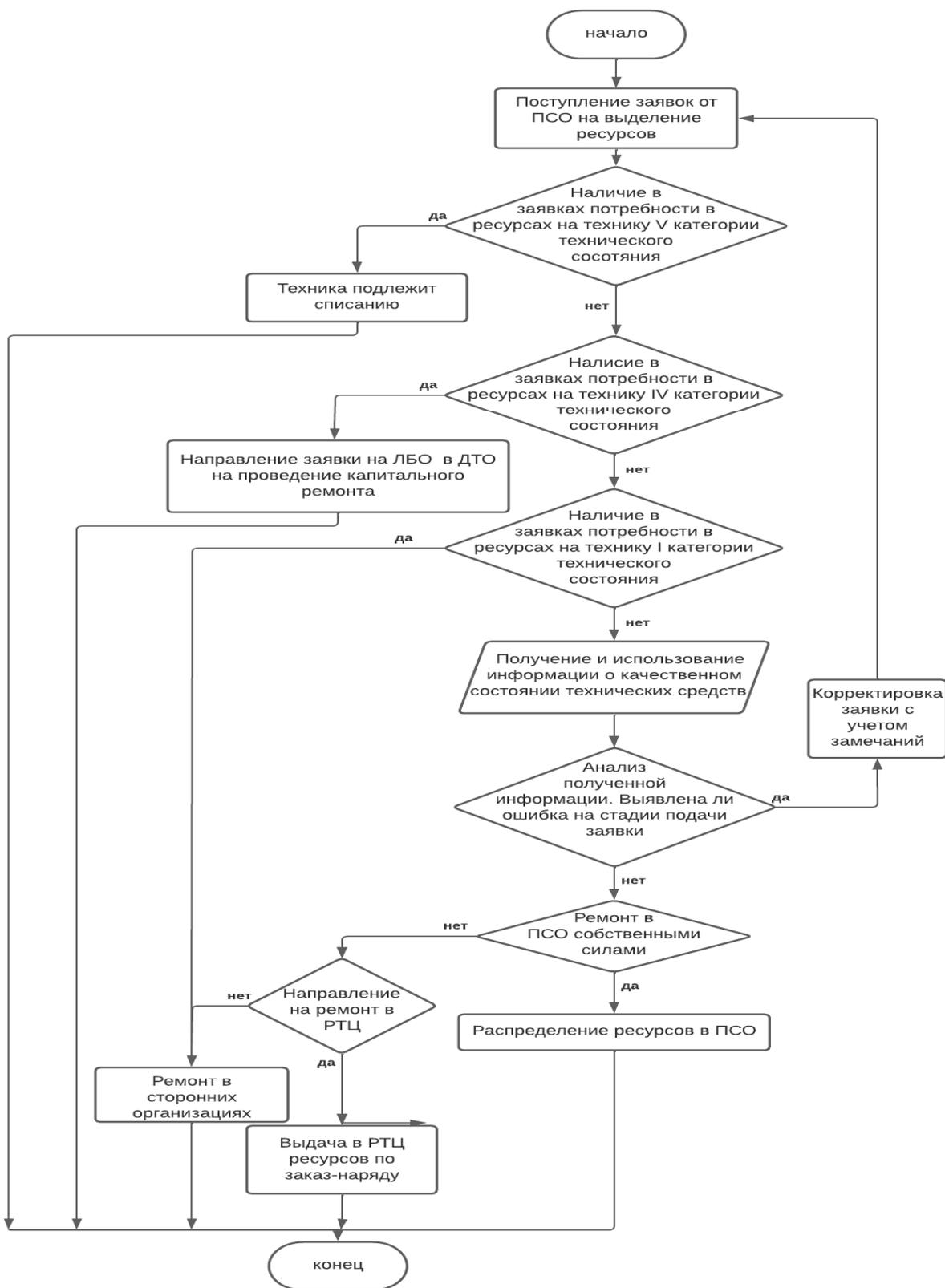


Рис.6. – Алгоритм распределения ресурсов на содержание техники с учетом формирования фонда текущего ремонта

Основными перспективными задачами, призванными модернизировать систему материально-технического обеспечения, являются:

- создание оборотного фонда запасных частей (агрегатов), который позволит оперативно реагировать на непредвиденные ситуации;
- снижение избыточных складских запасов, что обеспечит свободные финансовые ресурсы для других нужд;
- планирование оснащения подразделений технической службы современным оборудованием, которое позволит повысить эффективность работы и улучшить качество выполняемых задач;
- планирование работы по поддержанию необходимых запасов проведения аварийно-спасательных операций и наладка эффективного информирования в кризисных ситуациях, что повысит готовность к реагированию на вызовы.

Алгоритм распределения финансовых ресурсов на материальное стимулирование личного состава представлен на Рис.7. Материальное стимулирование играет ключевую роль в управлении персоналом. Оно позволяет не только увеличить мотивацию сотрудников, но и повысить их производительность и преданность организации. Одним из наиболее распространенных способов материального стимулирования является распределение премиального фонда между действующими сотрудниками организации.

При разработке подходов к распределению премиального фонда важно учитывать различные аспекты, такие как результаты работы сотрудника, его вклад в достижение общих целей, индивидуальные достижения и профессиональные навыки.

Один из подходов к распределению премиального фонда - это установление четких и объективных критериев эффективности, которые помогут определить, каким сотрудникам следует быть вознагражденными. На основании [16] ТО МЧС России была поставлена задача «внедрить показатели оценки эффективности военнослужащими, сотрудниками ФПС ГПС, гражданскими служащими и работниками МЧС России результатов при решении задач службы (работы) и на их основе установить обеспечивающую материальную заинтересованность систему денежного вознаграждения». Так как каждый ТО МЧС России самостоятельно разрабатывал данную систему, то в алгоритме учтен общий подход.

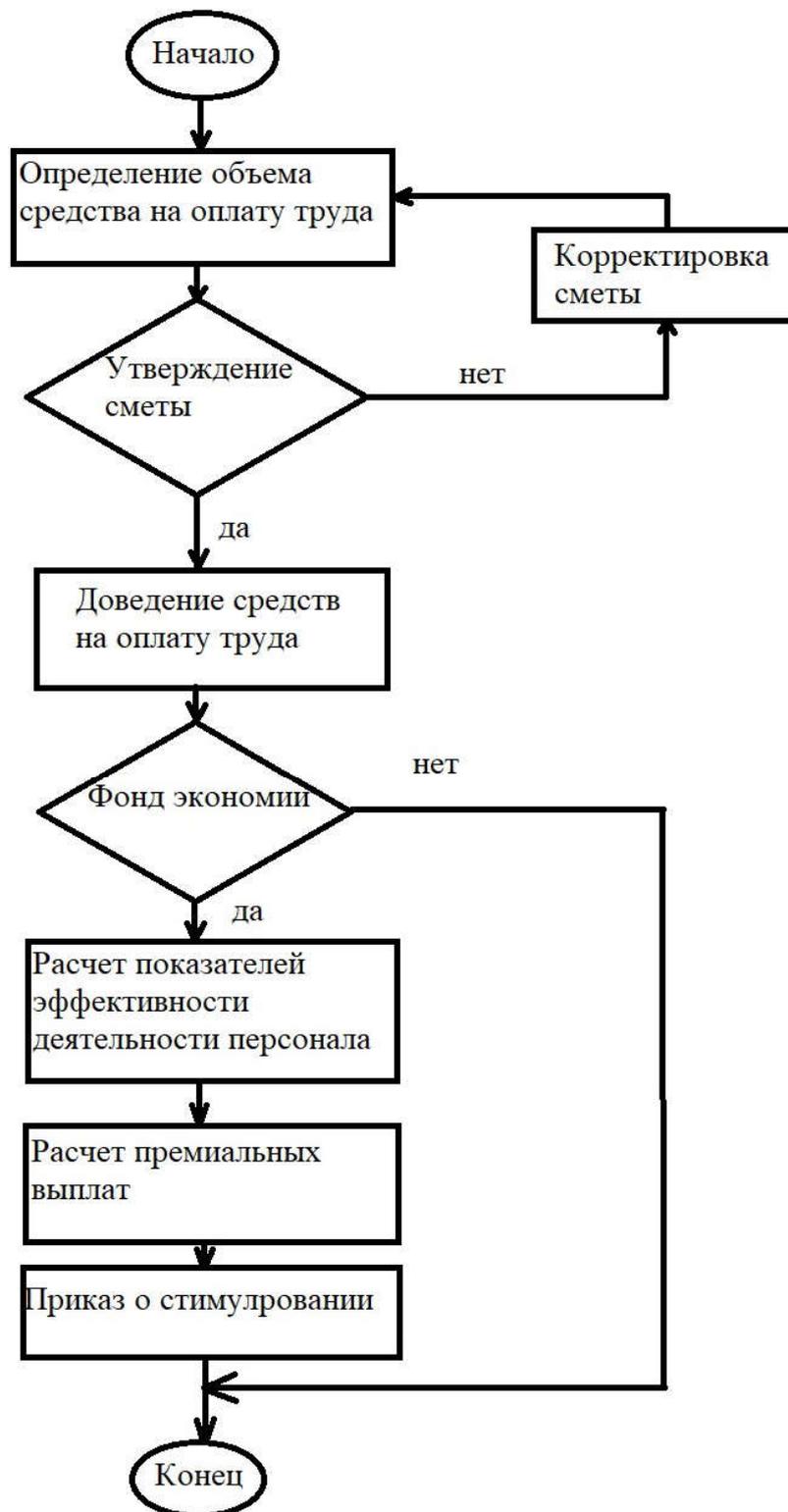


Рис.7. – Алгоритм распределения ресурсов в целях стимулирования личного состава

Заключение

Предложенные в статье модель и алгоритмы оптимального распределения ресурсов на содержание ТО МЧС России положительно влияют на:

- организационную эффективность управленческих решений, поскольку результатом управленческих решений является совершенствование планирования и распределения ресурсов на содержание Главного управления, совершенствование системы стимулирования работников, реагирующих подразделений Главного управления;

- технологическую эффективность управленческих решений, выраженную в повышении технической готовности Главного управления, планирования работы ремонтно-технического центра Главного управления, рациональном использовании материально-технических ресурсов;

- социальную эффективность управленческих решений, которая проявляется в достижении социальных целей для работников Главного управления. Социальная эффективность будет выражаться в снижении текучести кадров, обеспечении стабильности, развитии организационной культуры, хорошего социально-психологического климата.

Таким образом, механизмы оптимального распределения ресурсов на основе предложенной модели и алгоритмов позволяют решать различные задачи оптимизации ресурсов по выбранной стратегии. Это особенно важно в условиях секвестрирования бюджетов и ограниченного финансирования.

Исследования и практический опыт показывают, что использование данной модели и алгоритмов может значительно повысить эффективность распределения ресурсов и обеспечить достижение поставленных целей. Однако необходимо учитывать особенности каждой организации и региона при их разработке и применении.

Список источников

1. Злотников А.Г. Модели и механизмы распределения ресурса в многоуровневых организационных системах: специальность 05.13.10 "Управление в социальных и экономических системах": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Злотников Анатолий Григорьевич. – Воронеж, 2006. – 133 с. – EDN NNVYRB.

2. Чернышов Б.А. Централизованное управление взаимодействием объектов организационной системы на основе оптимизационных моделей рейтингового оценивания: специальность 05.13.10 "Управление в социальных и экономических системах": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чернышов Борис Александрович, 2020. – 134 с. – EDN BRNEOH.

3. Глушков А.Ю. Проектное управление организационными системами на основе моделей оптимального распределения ресурсов: специальность 05.13.10 "Управление в социальных и экономических системах": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Глушков Александр Юрьевич, 2021. – 187 с. – EDN SWCRZM.

4. Чекмарева Г.И. К системе внутрипроизводственного управления материальными потоками / Чекмарева Г.И. // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). – 2012. – № 1(37). – С. 155-164. – EDN OXRHZX.

5. Плотников С.Н. Метод обоснования стратегий распределения ресурса для обеспечения финансовой устойчивости организационных систем / Плотников С.Н. // Нелинейный мир. – 2019. – Т. 17, № 3. – С. 52-64. – DOI 10.18127/j20700970-201903-07. – EDN YUANID.

6. Воронин А.Н. Программная инженерия в задаче многокритериального распределения ограниченных ресурсов / Воронин А.Н. // Инженерия программного обеспечения. – 2010. – № 3. – С. 19-25. – EDN SDYVKX.

7. Романов А.А. Некоторые вопросы обеспечения сил и средств территориальных органов ФСИН России материально-техническим имуществом / Романов А.А. // Научные труды ФКУ НИИ ФСИН России: Научно-практическое ежеквартальное издание. Том Выпуск 4. – Москва: Федеральное казенное учреждение Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний Российской Федерации, 2020. – С. 88-91. – EDN ZZKKZF.

8. Ермилова Е.С. К вопросу об эффективности использования бюджетных средств в деятельности федеральных органов исполнительной власти / Ермилова Е.С. // Актуальные проблемы экономики и финансового менеджмента: Сборник научных работ студентов экономического факультета / Российская таможенная академия. – Москва: РИО Российской таможенной академии, 2022. – С. 53-56. – EDN XXXSAL.
9. Масалева М.В. Модель и алгоритм поддержки управления закупками в пожарно-спасательных подразделениях: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Масалева Мария Владимировна. – Москва, 2021. – 179 с. – EDN RRNRUT.
10. Черных А.К. Моделирование распределения лимитов бюджетных обязательств, выделяемых на ликвидацию чрезвычайных ситуаций в пожароопасный период / Черных А.К., Трошин А.Н. // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". – 2016. – № 4. – С. 112-117. – EDN XSFCWJ.
11. Самороковский А.Ф. Модель оптимального распределения ресурса оперативным штабом при проведении эвакуации в условиях возникновения чрезвычайной ситуации / Самороковский А.Ф. // Вестник Воронежского института МВД России. – 2021. – № 1. – С. 122-130. – EDN TYKCMK.
12. Шофеев Т.Г. Модель и алгоритм оптимального распределения ресурсов подразделений МЧС России / Шофеев Т.Г., Сафарова С.Ю., Матвеев А.В. // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". – 2023. – № 2. – С. 125-133. – EDN NBPXIL.
13. Бардулин Е.Н. Анализ финансирования и экономической безопасности системы материально-технического обеспечения МЧС России / Бардулин Е.Н., Мусиенко Т.В. // Актуальные проблемы защиты и безопасности: труды XXIII Всероссийской научно-практической конференции РАРАН, Санкт-Петербург, 01–04 апреля 2020 года / Российская академия ракетных и артиллерийских наук. Том 4. – Санкт-Петербург: Б. и., 2020. – С. 221-226. – EDN DXEFYQ.
14. Мошкин А.С. Методика обеспечения экономической безопасности при определении условий и порядка финансирования проектной деятельности организаций и подразделений МЧС России / Мошкин А.С., Глубоков М.В. // Экономико-управленческие проблемы предупреждения и защиты от чрезвычайных ситуаций: Сборник трудов XXXI Международной научно-практической конференции, Химки, 17 марта 2021 года. – Химки: Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2021. – С. 52-58. – EDN UUIIUR.
15. Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы и модели в управлении: Учеб. пособие. - 3-е изд. - М.: Дело, 2004. - 440 с. - Сер. "Классический университетский учебник" ISBN 5-7749-0374-5.
16. Решение коллегии МЧС России от 11.02.2020 № 1/1 «Об итогах работы МЧС России по основным направлениям деятельности в 2019 году и о задачах на 2020 год» // Fireman.club: сайт. - URL: <https://fireman.club/normative-documents/reshenie-kollegii-mchs-rossii-1-i-ot-11-02-2020-ob-itogah-mchs/> (дата обращения 10.08.2024).

References

1. Zlotnikov A.G. Models and mechanisms of resource allocation in multilevel organizational systems: specialty 05.13.10 "Management in social and economic systems": dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Zlotnikov Anatoly Grigorievich. – Voronezh, 2006. – 133 p. – EDN NNVYRB.
2. Chernyshov B.A. Centralized management of the interaction of objects of the organizational system based on optimization models of rating assessment: specialty 05.13.10 "Management in social and economic systems": dissertation for the degree of Candidate of technical Sciences / Chernyshov Boris Alexandrovich, 2020. – 134 p. – EDN BRNEOH.
3. Glushkov A.Y. Project management of organizational systems based on optimal resource allocation models: specialty 05.13.10 "Management in social and economic systems": dissertation for

the degree of Candidate of Technical Sciences / Glushkov Alexander Yuryevich, 2021 – 187 p. – EDN SWCRZM.

4. Chekmareva G.I. To the system of in-house management of material flows / Chekmareva G.I. // Bulletin of the Rostov State University of Economics (RINH). – 2012. – № 1(37). – Pp. 155-164. – EDN OXRHZZ.

5. Plotnikov S.N. Method of substantiating resource allocation strategies to ensure the financial stability of organizational systems / Plotnikov S.N. // Nonlinear world. – 2019. – Vol. 17, №. 3. – pp. 52-64. – DOI 10.18127/j20700970-201903-07. – EDN YUANID.

6. Voronin A.N. Software engineering in the problem of multicriteria allocation of limited resources / Voronin A. N. // The engineering of the software package. - 2010. – №. 3. – pp. 19-25. – EDN SDYVKX.

7. Romanov A.A. Some issues of providing the forces and means of the territorial bodies of the Federal Penitentiary Service of Russia with material and technical property / Romanov A.A. // Scientific works of the Federal State Budgetary Institution of the Federal Penitentiary Service of Russia: Scientific and Practical quarterly publication. Volume Issue 4. – Moscow: Federal State Institution Scientific Research Institute of the Federal Penitentiary Service of the Russian Federation, 2020. – pp. 88-91. – EDN ZZKKZF.

8. Ermilova E.S. On the issue of the effectiveness of the use of budgetary funds in the activities of federal executive authorities / Ermilova E.S. // Actual problems of economics and financial management: A collection of scientific papers by students of the Faculty of Economics / Russian Customs Academy. – Moscow: RIO of the Russian Customs Academy, 2022. – pp. 53-56. – EDN XXXSAL.

9. Masaleva M.V. Model and algorithm of procurement management support in fire and rescue units: dissertation for the degree of Candidate of technical Sciences / Masaleva Maria Vladimirovna. – Moscow, 2021. – 179 p. – EDN RRNRUT.

10. Chernykh A.K. Modeling of the distribution of limits of budget obligations allocated for the elimination of emergency situations in a fire-hazardous period / Chernykh A.K., Troshin A.N. // Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia". - 2016. – №. 4. – pp. 112-117. – EDN XSFCWJ.

11. Samorokovsky A.F. The model of optimal resource allocation by the operational headquarters during evacuation in an emergency situation / Samorokovsky A.F. // Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. – 2021. – №. 1. – pp. 122-130. – EDN TYKKMK.

12. Shofeev T.G. Model and algorithm of optimal allocation of resources of units of the Ministry of Emergency Situations of Russia / Shofeev T.G., Safarova S.Yu., Matveev A.V. // Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia". – 2023. – №. 2. – pp. 125-133. – EDN NBPXIL.

13. Bardulin E.N. Analysis of financing and economic security of the material and technical support system of the Ministry of Emergency Situations of Russia / Bardulin E.N., Musienko T.V. // Actual problems of protection and security: proceedings of the XXIII All-Russian Scientific and Practical Conference RARAN, St. Petersburg, April 01-04, 2020 / Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. Volume 4. – St. Petersburg: B. I., 2020. – pp. 221-226. – EDN DXEFYQ.

14. Moshkin A.S. Methodology for ensuring economic security in determining the conditions and procedure for financing project activities of organizations and departments of the Ministry of Emergency Situations of Russia / Moshkin A.S., Glubokov M.V. // Economic and managerial problems of prevention and protection from emergencies: Proceedings of the XXXI International Scientific and Practical Conference, Khimki, March 17, 2021. – Khimki: Academy of Civil Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, 2021. – pp. 52-58. – EDN UUIIUR.

15. Shikin E.V., Chkhartishvili A.G. Mathematical methods and models in management: Textbook. - 3rd ed. - Moscow: Delo, 2004. - 440 p. - Ser. "Classical university textbook" ISBN 5-7749-0374-5.

16. Decision of the Board of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated 11.02.2020 №. 1/I "On the results of the work of the Ministry of Emergency Situations of Russia on the main areas of activity in 2019 and on the tasks for 2020" // Fireman.club: website. - URL:

<https://fireman.club/normative-documents/reshenie-kollegii-mchs-rossii-1-i-ot-11-02-2020-ob-itogah-mchs/> (date of access 10.08.2024).

Информация об авторах

М.П. Григорьева - кандидат технических наук
О.В. Кружкова – кандидат экономических наук
Е.С. Кузнецова – кандидат технических наук

Information about the author

M.P. Grigorieva - Ph.D. of Engineering Sciences
O.V. Kruzhkova – Ph.D. of Economic Sciences
E.S. Kuznetsova – Ph.D. of Engineering Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.07.2024, одобрена после рецензирования 20.08.2024, принята к публикации 30.08.2024.

The article was submitted 27.07.2024, approved after reviewing 20.08.2024, accepted for publication 30.08.2024.

Научная статья
УДК 004.832.25
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.28.14.028

Метод расчёта эффективной ширины, полосы поиска уклоняющихся судов на основе текущей информации

Дмитрий Алексеевич Колеров¹

Валерий Ильич Куватов²

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

¹<https://orcid.org/0000-0001-9800-4904>

²<https://orcid.org/0000-0002-7149-8489>

Автор ответственный за переписку: Дмитрий Алексеевич Колеров, dima11rus@inbox.ru

Аннотация. Актуализируются проблемы увеличения числа маломерных судов на внутренних водоёмах РФ и количества аварий, связанными с их участием. Предлагается один из возможных вариантов решения, за счёт патрулирования акватории и выявления нарушений требований эксплуатации таких судов, а также правил навигации. В виду ограниченности числа патрульных судов и высокой занятости сотрудников Государственной инспекции по маломерным судам (ГИМС) данному направлению уделяется недостаточно внимания. Для повышения эффективности патрулирования акваторий, с учётом ограничения имеющихся ресурсов требуется разработка соответствующих моделей и методов. Описан метод расчёта эффективной ширины полосы поиска уклоняющихся судов, на основе текущей информации, разработанный для сотрудников ГИМС, осуществляющих патрулирование акватории. Применение метода может быть осуществлено для решения ряда других задач, связанных с поиском уклоняющихся судов, то есть плавсредств, которые стремятся скрыться из зоны видимости представителей закона. К примеру, для поиска браконьеров на водоёмах РФ. В рамках дальнейших исследований планируется разработка специального программного обеспечения для осуществления поддержки принятия управленческих решений сотрудниками ГИМС при патрулировании акватории.

Ключевые слова: метод, ширина полосы поиска, полоса поиска, уклоняющиеся суда, ГИМС, текущая информация

Для цитирования: Колеров Д.А., Куватов В.И. Метод расчёта эффективной ширины, полосы поиска уклоняющихся судов на основе текущей информации // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 59-68. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.28.14.028>.

Original article

METHOD FOR CALCULATING THE EFFECTIVE SEARCH BANDWIDTH FOR EVADING VESSELS BASED ON CURRENT INFORMATION

Dmitry A. Kolerov¹

Valery I. Kuvatov²

Saint - Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia,

¹<https://orcid.org/0000-0001-9800-4904>

²<https://orcid.org/0000-0002-7149-8489>

Corresponding author: Dmitry A. Kolerov, dima11rus@inbox.ru

Abstract. The problems of increasing the number of small vessels on inland waters of the Russian Federation and the number of accidents associated with their participation are becoming more pressing. One of the possible solutions is proposed by patrolling the water area and identifying violations of the operating requirements of such vessels, as well as navigation rules. Due to the limited number of patrol vessels and the high employment of employees of the State Inspectorate for Small Vessels (GIMS), insufficient attention is paid to this area. To increase the efficiency of patrolling water areas, taking into account the limitations of available resources, the development of appropriate models and methods is required. A method is described for calculating the effective width of the search lane for evading vessels, based on current information, developed for GIMS employees patrolling the water area. The method can be used to solve a number of other problems related to the search for evading vessels, that is, watercraft that try to hide from the visibility of representatives of the law. For example, to search for poachers in Russian water bodies. As part of further research, it is planned to develop special software to support management decisions by GIMS employees when patrolling the water area.

Keywords: method, search bandwidth, search lane, evading vessels, GIMS, current information

For citation: Kolerov D.A., Kyvatov V.I. Method for calculating the effective search bandwidth for evading vessels based on current information // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 3 (34). С. 59-68. (In Russ.) <https://doi.org/>

Введение

В связи с удешевлением технологий производства маломерных судов наблюдается тенденция снижения их стоимости и увеличения общего числа на водоёмах РФ. Данный факт влечёт за собой рост количества нарушений и аварий на водоёмах нашей страны. Более трети нарушений связаны с несоблюдением требований, предъявляемых к безопасности пассажиров [1]. Статистический анализ свидетельствует о том, что подавляющее большинство аварий связано именно с участием маломерных судов [2]. Осуществление контроля за соблюдением ряда правил при эксплуатации маломерных судов и обеспечение безопасности людей на водных объектах возложено на ГИМС МЧС России.

Одним из действенных способов минимизации количества аварий, в том числе с участием маломерных судов, является патрулирование акватории, позволяющее предотвращать нарушения. В виду невысокой численности штатных должностей центров ГИМС МЧС России по субъектам РФ и их высокой занятости вопросам патрулирования уделяется недостаточное внимание [3]. Одним из возможных вариантов снижения количества аварий на водоёмах нашей страны является оптимизация процесса патрулирования, за счёт более эффективного использования имеющихся ресурсов.

Решение задачи по обеспечению безопасности людей на водных объектах, является особенно актуальной в связи с указанными ранее обстоятельствами. Её научная новизна связана с возможностью использования методов теории поиска для обнаружения судов с потенциальными нарушителями сотрудниками ГИМС МЧС России. Одним из направлений её решения является разработка моделей и методов, позволяющих осуществлять поддержку принятия решений (ППР) при поиске судов. Целью настоящей статьи является разработка метода расчёта эффективной ширины полосы поиска уклоняющихся судов на основе текущей информации.

Аналитический обзор научных исследований показал, что методы теории поиска применяются для ППР при обнаружении судов терпящих бедствие [4], проведении поисковых операций [5], обследовании района поиска терпящего бедствие судна [6]. Происходит активное внедрение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и исследования водных объектов, опасных гидрологических явлений [7], поиска браконьеров [8], и решения ряда других задач [9].

Статьи зарубежных авторов посвящены решению задач поиска судов на море, за счёт разработки систем ППР [10], в том числе с элементами искусственного интеллекта [11,12] и использования космического мониторинга для получения данных о местоположении судна [13].

Статистический анализ показал, что за 2023 год в России зарегистрировано порядка 4000 аварий, связанных с маломерными судами. Поскольку доступность маломерных судов для населения продолжает расти, то снижения в количестве аварий, связанных с ними, не прогнозируется.

Материалы и методы исследования

Существующие на текущий момент модели поиска, как правило, предназначены для поиска аварийных судов, которые являются неподвижными [14]. Однако на практике сотрудники ГИМС МЧС России в подавляющем большинстве случаев осуществляют поиск движущихся судов, так как именно они являются потенциальными нарушителями. Кроме того, развитие научно-технического прогресса приводит к появлению у нарушителей различных средств наблюдения (биноклей и т.д.), которые им позволяют первыми заметить патрульное судно и предпринять попытки к уклонению от визуального контакта с ним. В случае если патрульное судно первым обнаружило нарушителей и имеет перед ним преимущество в скорости, то с большой долей вероятности нарушители будут задержаны. При диаметрально противоположных исходных данных вероятнее всего исход сценария сложится наоборот. В иных случаях вероятность обнаружения и задержания судна будет зависеть от множества факторов и в некоторых случаях нарушители могут скрыться из зоны видимости и избежать наказания, а в некоторых – нет. Для повышения вероятности обнаружения потенциальных нарушителей предлагается метод, позволяющий определять эффективную ширину полосы поиска уклоняющихся судов на основе текущей информации и рассчитывать оптимальное число патрульных судов. В основе разработанного метода лежат основные положения теории поиска [15]. В качестве текущей информации выступают параметры, складывающиеся в акватории в определенный момент времени, то есть при патрулировании акватории сотрудниками ГИМС. Получение значений параметров осуществлено на основе эвристических методов и экспертного опыта должностных лиц [16].

Результаты исследования и их обсуждение

Ключевым фактором успеха сотрудников ГИМС МЧС России при возникновении сценария, описанного выше, является зависимость от взаимных скоростей и взаимных дальностей обнаружения. От их величины будет зависеть, сможет судно уклониться или нет. Для повышения вероятности обнаружения судна с потенциальными нарушителями необходимо определить эффективную ширину полосы поиска таких судов. Для решения этой задачи в статье разработан приведённый ниже метод. Схематично процесс поиска уклоняющегося судна на основе разработанного метода представлен на Рис.1.

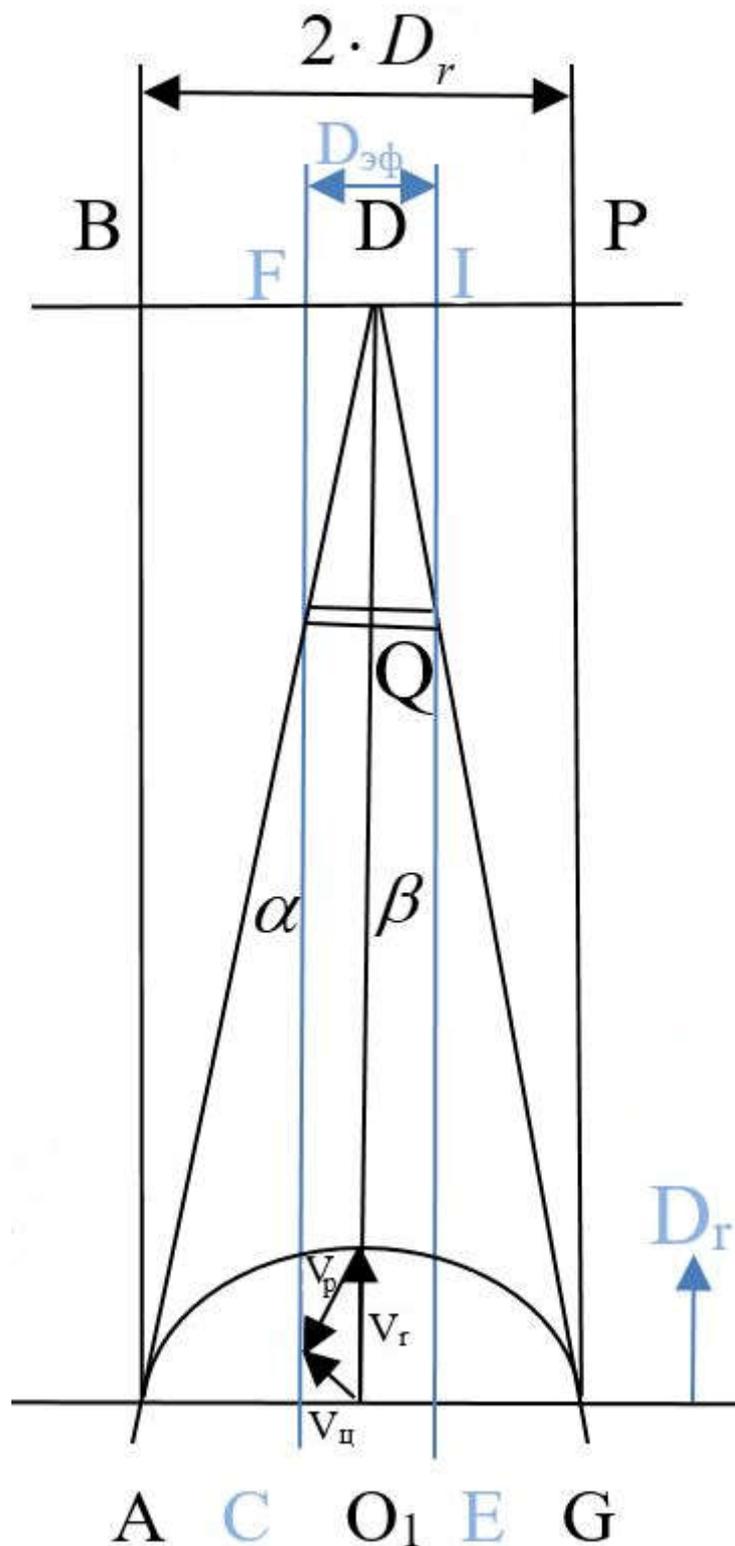


Рис.1. Схема поиска уклоняющегося судна

Пусть сотрудники ГИМС на судне обследуют патрулируемую акваторию. Обозначим: дальность обнаружения судов сотрудниками ГИМС – D_r ; патрульного судна нарушителями – $D_{ц}$ (на Рис.1 отображена отрезком O_1D); скорость судна, патрулирующего акваторию – V_r ; а судна с потенциальными нарушителями – $V_{ц}$; относительную скорость судна с потенциальными нарушителями – $V_{р}$. Пусть это судно, обнаружив патрулирующее судно и определив параметры движения, ложится на курс расхождения на максимальной дистанции. Для этого оно должно отвернуть на курс перпендикулярный своему относительному курсу $K_{р}$.

На Рис.1 K_p совпадает по направлению с вектором относительной скорости V_p . Назовем отрезок AG полосой поиска. Из Рис.2 видно, что длина этого отрезка равна $2 \cdot D_r$.

Построив линию AD, касательную окружности D_r , параллельно относительному курсу уклонения вправо и линию DG параллельно относительному курсу уклонения влево, получим треугольник ADG. Из Рис.1 видно, что если судно с потенциальными нарушителями попадет внутрь этого треугольника, то при заданных скоростях V_r и $V_{ц}$ оно уклониться не сможет. Из этого же рисунка следует, что при заданной $D_{ц}$ граница зоны обнаружения судна с потенциальными нарушителями сотрудников ГИМС представляет собой точки С и Е. Если такое судно будет обнаружено, находясь на границе зоны обнаружения, расположенной между этими точками, то оно уклониться не сможет.

Построив через точки С и Е параллельно полосе движения судна сотрудников ГИМС получим отрезки FC и IE. Следовательно, отрезок FI и к CE есть ширина полосы обнаружения судов с потенциальными нарушителями. Назовем ее эффективной шириной поиска и обозначим $D_{эф}$. Из Рис.2 следует, что:

$$D_{эф} = AG - AC - EG = 2 \cdot D_r - AC - CEG$$

В свою очередь:

$$CE = CO_1 + O_1E$$

Тогда задача определения $D_{эф}$ сводится к задаче определения O_1H . Из Рис.2 видно, что:

$$CE = O_1D \cdot \sin(\beta) = D_{ц} \cdot \sin(\beta), \text{ где } \beta = Q - a$$

Таким образом:

$$D_{эф} = 2 \cdot D_r - 2 \cdot [D_r + D_{ц} \cdot \sin(Q - a)] = 2 \cdot D_r - 2 \cdot D_{ц} \cdot \sin(Q - a)$$

Пусть Q есть угол между векторами V_r и V_p . Для курса судна с потенциальными нарушителями, позволяющего ей разойтись с сотрудниками ГИМС на максимальной дистанции, угол Q рассчитывается по формуле:

$$Q = \arcsin\left(\frac{V_{ц}}{V_r}\right)$$

Угол a вычисляется по формуле $a = \arcsin\left(\frac{D_r}{D_{ц}}\right)$. Отсюда следует:

$$\begin{aligned} O_1H &= D_{ц} \cdot \sin(\beta) = D_{ц} \cdot \sin(Q - a) = D_{ц} [\sin(Q) \cdot \cos(a) - \cos(Q) \cdot \sin(a)] \\ &= D_{ц} \left[\frac{V_{ц}}{V_r} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{D_r}{D_{ц}}\right)^2} - \left[\frac{D_r}{D_{ц}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_{ц}}{V_r}\right)^2} \right] \right] = \frac{V_{ц} \cdot \sqrt{D_{ц}^2 - D_r^2} - D_r \cdot \sqrt{V_r^2 - V_{ц}^2}}{D_{ц} \cdot V_r} \end{aligned}$$

В ходе последних преобразований использовалось тождество:

$$\cos(\arcsin(x)) = \sqrt{1 - x^2}$$

Формула для расчета эффективной ширины полосы поиска уклоняющихся судов будет иметь вид:

$$D_{эф} = 2 \cdot D_r - 2 * \frac{V_{ц} \cdot \sqrt{D_{ц}^2 - D_r^2} - D_r \cdot \sqrt{V_r^2 - V_{ц}^2}}{D_{ц} \cdot V_r}$$

В случае если скорость уклоняющегося судна превышает скорость патрульного судна целесообразно увеличение числа последних. Тогда постановка задачи будет иметь несколько другой вид. Пусть сотрудники ГИМС на n однотипных судах обследуют патрулируемую акваторию, параллельно друг другу. На Рис.2 дальность обнаружения судов сотрудниками

ГИМС и судов, патрулирующих акваторию потенциальными нарушителями, отображены отрезками O_1C и O_2D соответственно. Пусть это судно, обнаружив патрулирующие суда и определив параметры их движения, ложится на курс расхождения с ними на максимальной дистанции. Для этого оно должно отвернуть на курс перпендикулярный своему относительному курсу K_p . На Рис.2 K_p совпадает с вектором относительной скорости V_p . Назовем отрезок AF полосой поиска. Из Рис.2 видно, что длина этого отрезка равна $2 \cdot n \cdot D_r$.

Построив линию KC , касательную окружности D_r , параллельно относительному курсу уклонения вправо и линию DL параллельно относительному курсу уклонения влево. Из Рис.2 видно, что если судно с потенциальными нарушителями попадет внутрь многоугольника, образованного ломаной KAF и отрезками KC , LD до их пересечения между собой, то при заданных скоростях V_r и $V_{ц}$ оно уклониться не сможет. Из этого же рисунка следует, что при заданной $D_{ц}$ граница зоны обнаружения судна с потенциальными нарушителями сотрудников ГИМС представляет собой точки C и D . Если такое судно будет обнаружено, находясь на границе зоны обнаружения, расположенной между этими точками, то оно уклониться не сможет.

Построив через точки C и D параллельно полосе движения группы судов сотрудников ГИМС получим отрезки CH и DG . Следовательно, отрезок CD и к HG есть ширина полосы обнаружения судов с потенциальными нарушителями. Назовем ее эффективной шириной поиска и обозначим $D_{эф}$. Из Рис.2 следует, что:

$$D_{эф} = AF - AH - HG - GF = AF - 2 \cdot AH - HG = 2 \cdot n \cdot D_r - 2 \cdot AH - HG$$

В свою очередь:

$$AH = AO_1 + O_1H = D_r + O_1H$$

Тогда задача определения $D_{эф}$ сводится к задаче определения O_1H . Из Рис.2 видно, что:

$$O_1H = O_1C \cdot \sin(\beta) = D_{ц} \cdot \sin(\beta), \text{ где } \beta = Q - a$$

Таким образом:

$$D_{эф} = 2 \cdot n \cdot D_r - 2 \cdot [D_r + D_{ц} \cdot \sin(Q - a)] = 2 \cdot (n - 1) \cdot D_r - 2 \cdot D_{ц} \cdot \sin(Q - a)$$

Пусть Q есть угол между векторами V_r и V_p . Для курса судна с потенциальными нарушителями, позволяющего ей разойтись с сотрудниками ГИМС на максимальной дистанции, угол Q рассчитывается по формуле:

$$Q = \arcsin\left(\frac{V_{ц}}{V_r}\right)$$

Угол a вычисляется по формуле $a = \arcsin\left(\frac{D_r}{D_{ц}}\right)$. Отсюда следует:

$$\begin{aligned} O_1H &= D_{ц} \cdot \sin(\beta) = D_{ц} \cdot \sin(Q - a) = D_{ц} [\sin(Q) \cdot \cos(a) - \cos(Q) \cdot \sin(a)] \\ &= D_{ц} \left[\frac{V_{ц}}{V_r} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{D_r}{D_{ц}}\right)^2} - \left[\frac{D_r}{D_{ц}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_{ц}}{V_r}\right)^2} \right] \right] = \frac{V_{ц} \cdot \sqrt{D_{ц}^2 - D_r^2} - D_r \cdot \sqrt{V_r^2 - V_{ц}^2}}{D_{ц} \cdot V_r} \end{aligned}$$

В ходе последних преобразований использовалось тождество:

$$\cos(\arcsin(x)) = \sqrt{1 - x^2}$$

Формула для расчета эффективной ширины полосы поиска уклоняющихся судов будет иметь вид:

$$D_{\text{эф}} = 2 \cdot (n - 1) \cdot D_r - 2 * \frac{V_{\text{ц}} \cdot \sqrt{D_{\text{ц}}^2 - D_r^2} - D_r \cdot \sqrt{V_r^2 - V_{\text{ц}}^2}}{D_{\text{ц}} \cdot V_r}$$

Схематично поиск уклоняющегося судна 2 патрульными судами показан на Рис.2 [17].

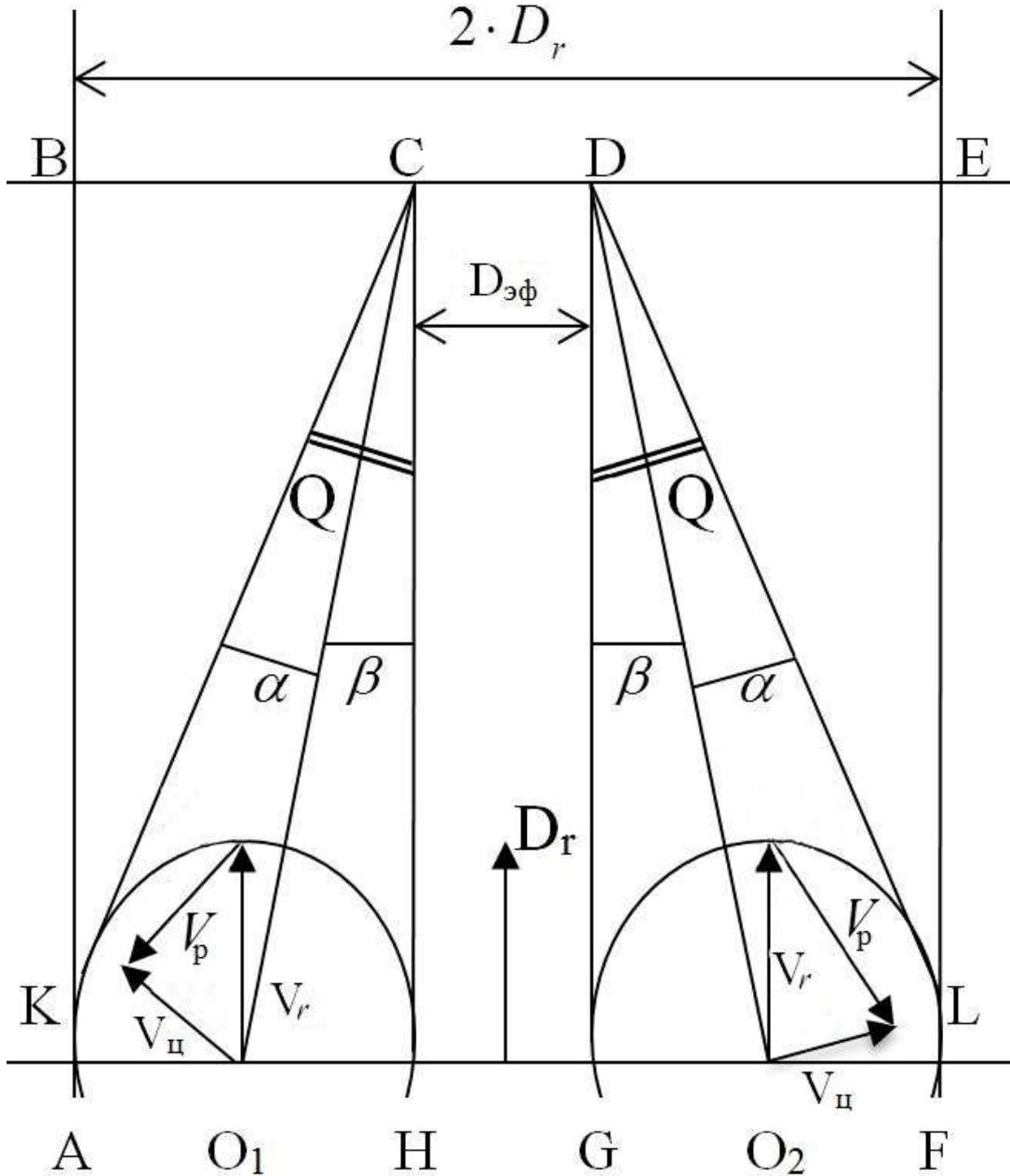


Рис.2. Схема поиска уклоняющегося судна

Подставив вместо D_r эффективную ширину полосы поиска $D_{\text{эф}}$, в модели поиска с постоянной, убывающей и возрастающей интенсивностью, можно оценить эффективность поиска и обнаружения уклоняющихся судов.

Используя приведённые выше выкладки можно составить формулу для расчёта необходимого количества патрульных судов с целью обнаружения судна с потенциальными нарушителями с вероятностью не ниже заданной:

$$P_{\text{обн}}(n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) > 0.8$$

где $P_{\text{обн}}$ – вероятность обнаружения судна с потенциальными нарушителями, к примеру, она должна быть не менее 80%. Эта формула позволяет рассчитать вероятность обнаружения нарушителя хотя бы одним патрульным судном.

Таким образом, разработанный метод позволяет осуществлять расчёт эффективной ширины полосы поиска уклоняющихся судов на основе текущей информации. Что в свою очередь позволит оптимизировать процесс ППР и определять оптимальное количество судов, для осуществления патрулирования.

Заключение

Описанный метод расчёта эффективной ширины полосы поиска уклоняющихся судов, на основе текущей информации, разработан для сотрудников ГИМС, осуществляющих патрулирование акватории, однако может быть для решения ряда других задач, связанных с поиском уклоняющихся судов, то есть плавсредств, которые стремятся скрыться из зоны видимости представителей закона. К примеру, после небольшой адаптации метод может быть с успехом применён для поиска браконьеров на водоемах РФ.

В рамках дальнейших исследований планируется разработка специального программного обеспечения для осуществления поддержки принятия управленческих решений сотрудниками ГИМС при патрулировании акватории. Программная реализация позволит снизить когнитивную нагрузку на должностных лиц, сократить скорость проведения итераций и минимизировать вероятность допущения ошибки из-за человеческого фактора.

Список источников

1. Колеров Д.А., Потапов А.И., Уткин О.В. Комплексный анализ причин возникновения чрезвычайных ситуаций на транспорте // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 3. С. 38-46.
2. Куватов В.И., Заводсков Г.Н., Колеров Д.А. Оценка эффективности управления безопасностью на объектах водного транспорта // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". 2022. № 4. С. 81-90.
3. Копейкин Н.Н. Анализ деятельности Государственной инспекции по маломерным судам МЧС России в области безопасности и охраны жизни людей на водных объектах // Транспорт России: проблемы и перспективы: Материалы международной-научно-практической конференции, 2018. С. 176-181.
4. Колеров Д.А., Куватов В.И. Математическая модель и алгоритм поддержки принятия решений при обнаружении судов терпящих бедствие // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 1(50). С. 37-43.
5. Япсаров Е.Р., Алексеев В.В. Особые способы проведения поисковой операции // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 4. С. 23-35. DOI 10.24143/2073-1574-2020-4-23-35.
6. Япсаров Е.Р., Алексеев В.В. Обследование района поиска терпящего бедствие судна // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 4. С. 53-60. DOI 10.24143/2073-1574-2020-4-53-60.
7. Сафаров М.С., Фазылов А.Р., Фазылов В.А. Мониторинг и исследования водных объектов и опасных гидрологических явлений горных территорий с применением беспилотных летательных аппаратов // Вестник Международного Университета Кыргызстана. 2021. № 2(43). С. 348-355.
8. Ки-Ян-шуй В.А., Коробова Л.А., Толстова И.С. Применение БПЛА для поиска браконьеров // Актуальная биотехнология. 2021. № 1. С. 251-253.

9. Деревянко Д.В. Применение беспилотных летающих аппаратов в гражданских целях и их безопасность // *Инновации. Наука. Образование*. 2021. № 32. С. 1438-1452.
10. Ли Дж. и др. Обзор морских беспилотных поисковых систем: теория, применение и будущие направления // *Океаническая инженерия*. 2023. С. 115-359.
11. Чэнь И. и др. Дистанционное обнаружение судов в сложных морских условиях на основе глубокой семантической сегментации // *Дистанционное зондирование*. 2020, № 4, С. 625.
12. Ясир М. и др. Ранжирование методов обнаружения судов с использованием изображений SAR на основе машинного обучения и искусственного интеллекта // *Журнал морской науки и техники*. 2023. № 10. С. 1916.
13. Ван И., Чжоу И., Ся С. Алгоритм обнаружения морских целей на основе глубокого обучения // 2021 Китайский конгресс по автоматизации (САС). IEEE, 2021. С. 1375-1380.
14. Закревский Ю.Н., Матвеев Р.П. Современные проблемы организации поиска, спасения и оказания помощи пострадавшим в морских катастрофах Обзор литературы // *Экология человека*. 2011. № 3. С. 33-39.
15. Бардулин Е.Н., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Вопросы принятия управленческих решений в случае неопределенности и риска // *Региональные аспекты управления, экономики и права Северо-Западного федерального округа России: межвузовский сборник научных трудов*. СПб. Выпуск 3 (44), 2018. С. 18-25.
16. Куватов В.И., Балобанов А.А., Колеров Д.А. Исследование операций: учебное пособие. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2024. 236 с.
17. Куватов В.И., Величко Г.А. Исследование операций. Учебник. СПб, 2005 г. 435 с.

References

1. Kolerov D.A., Potapov A.I., Utkin O.V. Comprehensive analysis of the causes of emergency situations in transport // *Natural and man-made risks (physical, mathematical and applied aspects)*. 2022. issue 3. pp. 38-46.
2. Kuvatov V.I., Zavodskov G.N., Kolerov D.A. Assessing the effectiveness of safety management at water transport facilities // *Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia"*. 2022. Issue 4. pp. 81-90.
3. Kopeikin N.N. Analysis of the activities of the State Inspectorate for Small Vessels of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the field of safety and protection of human life on water bodies // *Transport of Russia: problems and prospects: Materials of the international scientific-practical conference*. 2018. pp. 176-181.
4. Kolerov D.A., Kuvatov V.I. Mathematical model and algorithm for decision support when detecting ships in distress // *Modern problems of civil protection*. 2024. issue 1(50). pp. 37-43.
5. Yapparov E.R., Alekseev V.V. Special methods of conducting search operations // *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technology*. 2020. issue 4. pp. 23-35. DOI 10.24143/2073-1574-2020-4-23-35.
6. Yapparov E.R., Alekseev V.V. Survey of the search area for a ship in distress // *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technology*. 2020. issue 4. pp. 53-60. DOI 10.24143/2073-1574-2020-4-53-60.
7. Safarov M.S., Fazylov A.R., Fazylov V.A. Monitoring and research of water bodies and hazardous hydrological phenomena in mountain areas using unmanned aerial vehicles // *Bulletin of the International University of Kyrgyzstan*. 2021. issue 2(43). pp. 348-355.
8. Ki-Yan-shui V.A., Korobova L.A., Tolstova I.S. Application of UAVs to search for poachers // *Current biotechnology*. 2021. issue 1. pp. 251-253.
9. Derevianko D.V. Application of unmanned aerial vehicles for civil purposes and their safety // *Innovations. The science. Education*. 2021. issue 32. pp. 1438-1452.
10. Li J. et al. A survey of maritime unmanned search system: theory, applications and future directions // *Ocean Engineering*. 2023. P. 115359.
11. Chen Y. et al. Remote sensing image ship detection under complex sea conditions based on deep semantic segmentation // *Remote Sensing*. 2020, issue 4, P. 625.

12. Yasir M. et al. Ranking Ship Detection Methods Using SAR Images Based on Machine Learning and Artificial Intelligence // Journal of Marine Science and Engineering. 2023. issue 10. P. 1916.
13. Wang Y., Zhou Y., Xia X. Marine Target Detection Algorithm Based on Deep Learning // 2021 China Automation Congress (CAC). IEEE, 2021, pp. 1375-1380.
14. Zakrevsky Yu. N., Matveev R. P. Modern problems of organizing search, rescue and assistance to victims of marine disasters Review of literature // Human Ecology. 2011. issue 3. pp. 33-39.
15. Bardulin E.N., Skripnik I.L., Voronin S.V. Issues of making management decisions in case of uncertainty and risk // Regional aspects of management, economics and law of the North-Western Federal District of Russia: interuniversity collection of scientific papers. SPb. issue 3 (44), 2018. pp. 18-25.
16. Kuvatov V.I., Balobanov A.A., Kolerov D.A. Operations Research: A Textbook. SPb.: St. Petersburg. State Fire Department EMERCOM of Russia, 2024. 236 p.
17. Kuvatov V.I., Velichko G.A. Research of operations. Textbook. St. Petersburg, 2005, 435 p.

Информация об авторах

В.И. Куватов – доктор технических наук, профессор

Information about the author

V.I. Kuvatov - Doctor of Engineering Sciences, Professor

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.07.2024, одобрена после рецензирования 21.08.2024, принята к публикации 31.08.2024.

The article was submitted 28.07.2024, approved after reviewing 21.08.2024, accepted for publication 31.08.2024.

Научная статья
УДК 004:005.584.1:502/504
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.56.72.004

Информационная поддержка управления пожарными рисками сельских территорий

Валерий Васильевич Ничепорчук¹

Светлана Владимировна Кобыжакова²

¹Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (ФИЦ ИВТ), Красноярск, Россия

²Институт вычислительного моделирования СО РАН (ИВМ СО РАН), Красноярск, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-5365-1307>

Автор ответственный за переписку: Валерий Васильевич Ничепорчук valera@krasn.ru

Аннотация: Разработана структура информационных ресурсов для решения задачи повышения защищённости сельских и пригородных территорий от пожаров, включая планирование, обоснование и контроль мероприятий по выполнению требований пожарной безопасности в Российской Федерации. Для использования формализованных данных в процессах информационной поддержки формирования решений приведено краткое описание организационной модели управления. Совместное использование структурированных данных и сервисов интеллектуальной обработки позволит повысить эффективность функционирования органов управления в сфере обеспечения безопасности.

Ключевые слова: пожары, сельские территории, превентивные мероприятия, задачи управления, информационные ресурсы, организационная модель управления

Для цитирования: Ничепорчук В.В., Кобыжакова С.В. Информационная поддержка управления пожарными рисками сельских территорий // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 69-77. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.56.72.004>.

Original article

INFORMATION SUPPORT FOR FIRE RISK MANAGEMENT IN THE RURAL AREAS

Valery V. Nicheporchuk¹

Svetlana V. Kobyzhakova²

¹Federal Research Center for Information and Computational Technologies, Krasnoyarsk, Russia

²Institute of Computation Modeling SB RAS (IVM SB RAS), Krasnoyarsk, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-5365-1307>

Corresponding author: Valery V. Nicheporchuk, valera@krasn.ru

Abstract: In this paper we suggest a new solution to the problem of increasing the protection for rural and suburban areas from fires is based on structuring information resources. This allows for effective planning, justification and control of activities to comply with fire safety requirements. The organizational management model shows the use of formalized data for information support of decision making. The joint use of structured data and intelligent processing services will improve the efficiency of governing for the territorial safety.

Keywords: fires, rural areas, preventive measures, management tasks, information resources, organizational management model

For citation: Nicheporchuk V.V., Kobyzhakova S.V. Information support for fire risk management in the rural areas // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 3 (34). С. 69-77. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.56.72.004>.

Введение

Информационная поддержка задач обеспечения безопасности территорий относится к сложным задачам управления [1,2]. В отличие от технических систем, большинство решений принимается в условиях частичной неопределённости условий и ожидаемых результатов. Это обусловлено естественными причинами, параметры которых невозможно учесть или измерить с приемлемой точностью (например, человеческий фактор), а также несовершенством методов обработки информации и принятия решений. Концептуально процесс управления включает мониторинг управляемой системы и внешних факторов, воздействующих на систему; трансформацию данных в решения; реализацию решений с обратными связями, включающей контроль качества выполнения и эффект управления. Для автоматизации перечисленных процессов используется широкий спектр технологий проектирования и построения информационных систем.

Автоматизированные системы управления производствами применяются с середины прошлого века. Развиваются методы принятия решений по комплексному развитию территорий [3]. Машинное формирование решений по оперативному реагированию на чрезвычайные ситуации (ЧС) реализовано лишь частично для некоторых видов стихийных бедствий и техногенных катастроф [4]. В условиях дефицита времени на осмысление ситуации и сбор дополнительной информации, большой цены ошибочных решений, востребованы информационно-справочные и консультативные системы, позволяющие в основных чертах описать динамику опасных факторов и последствий их реализации, характеристики уязвимости защищаемых объектов, готовность сил и средств экстренного реагирования [5].

Процессы формирования решений по предупреждению ЧС практически не автоматизированы. В виду уникальности объектов управления и принимаемых решений, процессы их формирования трудно поддаются алгоритмизации. Решение проблемы дефицита размеченных данных с гарантированной достоверностью открывает перспективы применения технологий интеллектуальных систем. Практика применения таких систем в других сферах (медицина, энергетика) показывает эффективность машинного принятия в условиях частичной неопределённости [6-8].

Эффективность разработки и эксплуатации систем поддержки принятия решений и формирования информационных ресурсов во многом зависит от гибкости бизнес-процессов управления. Сложность цифровизации территориального управления заключается в необходимости гармонизации нормативно-правовой базы (НПБ), определяющей стандарты управления и требования к решениям, а также необходимости принятия согласованных и коллективных решений. Это характерно как при ликвидации масштабных ЧС, так и при формировании стратегических решений по защите территорий, реализуемых в длительной перспективе. Формализация описаний процессов и объектов позволяет достичь синергетического эффекта решения технических и организационных проблем, максимального использования преимуществ цифровизации управления.

В работе предложена структура гетерогенных данных для информационной поддержки управления пожарными рисками сельских и пригородных территорий. Для алгоритмизации процессов обеспечения безопасности жизнедеятельности населения и территорий, обоснования методов формирования решений с использованием формализованных данных рассмотрена организационная модель управления.

Информационная обеспеченность превентивного управления пожарной обстановкой

Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» устанавливает минимально необходимые требования пожарной безопасности к объектам защиты. В их число включены здания, сооружения, производственные объекты и др. Требования пожарной безопасности, определяющие порядок поведения людей, порядок организации производства, содержание территорий, зданий, сооружений, помещений, готовой продукции в целях обеспечения пожарной безопасности установлены Правилами противопожарного режима в Российской Федерации, утверждёнными Постановлением Правительства РФ от 16 сентября 2020 г. № 1479. В этих актах приведён подробный перечень мероприятий по предупреждению пожаров и снижению масштаба последствий от них для объектов и территорий.

В приложении к Правилам установлена форма *противопожарных паспортов* территорий, включая поселения, садоводства, детские оздоровительные лагеря и другие защищаемые объекты. Содержание и представление данных не позволяет решать задачи управления пожарными рисками. Для планирования деятельности на муниципальном и региональном уровнях требуется анализ отдельных характеристик защищаемых объектов, сделать который на основе десятков файлов формата .pdf затруднительно. В настоящее время параметры защищённости паспортов содержат минимум числовых показателей, что затрудняет определение и использование нормативов и критериев оценки. Для уменьшения субъективных факторов, повышения обоснованности и транспарентности решений необходима конкретизация показателей и алгоритмов, на основе которых решаются задачи управления.

Целью превентивного управления является обеспечение требований законодательства в области пожарной безопасности, включая приведение в соответствие нормативам характеристик поселений, защищаемых объектов и формирований. При ограничении на ресурсы необходимо обоснование приоритетности выполнения по видам мероприятий и территориям их реализации.

В настоящее время хорошо разработаны многокритериальные методы принятия решений в разных условиях: когда определены все факторы; а также при частичной и полной неопределённости [9]. Для корректного обоснования наилучшего решения из имеющегося набора вариантов помимо математического аппарата требуются полные, достоверные и актуальные данные, характеризующие ситуацию, а также технологии многофункционального анализа. Поскольку принимаемые в сфере обеспечения безопасности решения относятся к критически важным, необходимо применение методов трассировки алгоритмов формирования решений динамической визуализации результатов для понимания логики машинного решения задач управления решениями.

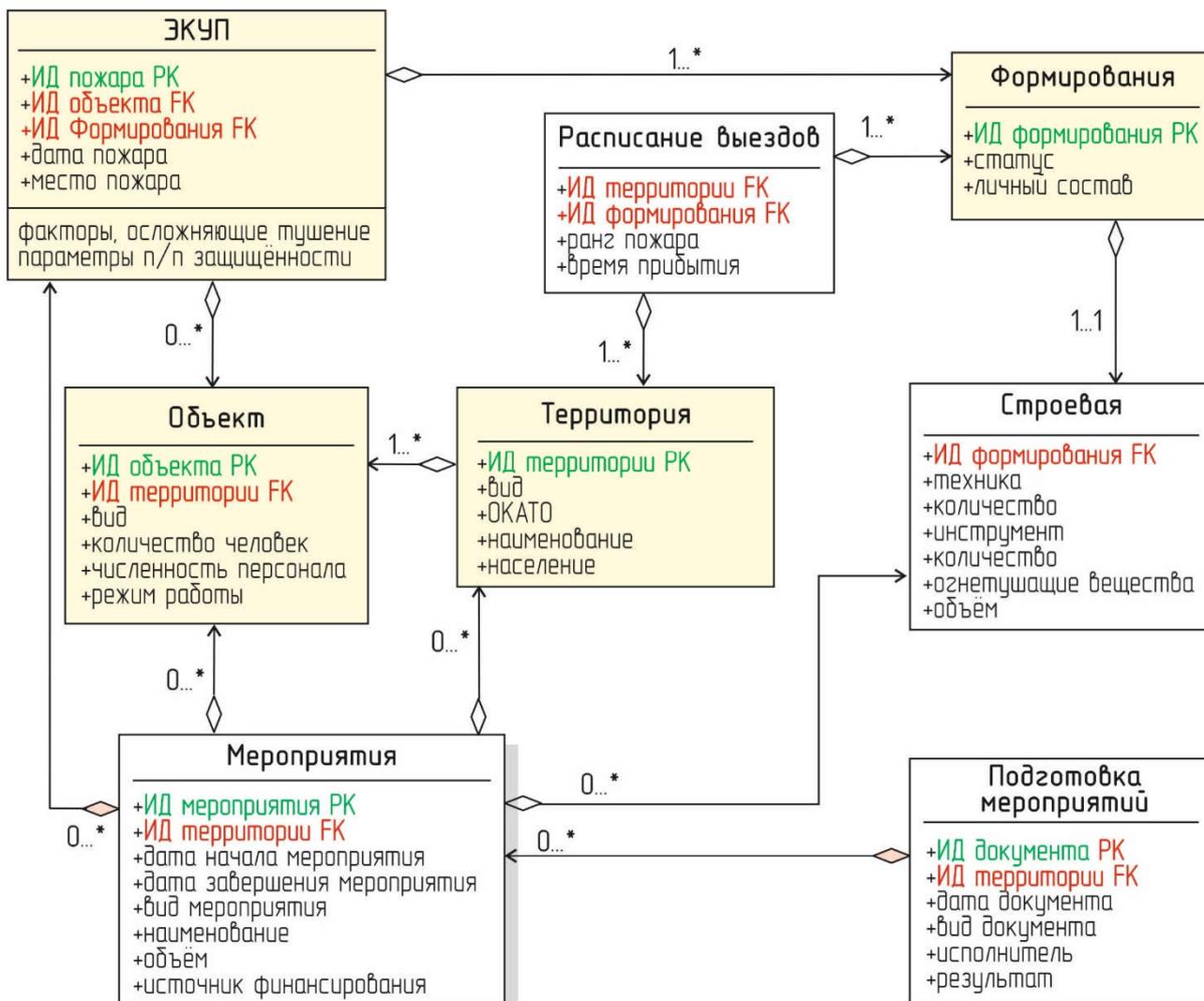
Тренд на накопление обучающих данных, заданных нейронными сетями, реализуется в интеллектуальных системах, реализуемых по другим технологиям. Для реализации справочных, консультационных, экспертных и других систем информационной поддержки необходимо использование всех элементов управления: *полных* наборов исходных данных, алгоритмов их обработки, принятых решений. Структура перечисленных элементов должна иметь машиночитаемый вид и при этом понятна всем пользователям интеллектуальных систем.

Структурирование данных для управления пожарными рисками

Структура информационных ресурсов для оценки состояния защищаемых объектов, планирования предупредительных мероприятий и мониторинга их выполнения показана на Рис.1. Это альтернатива используемым противопожарным паспортам территорий. Формализованные данные, аналитическое и картографическое моделирование предназначены для автоматизации контроля подготовки к весенне-летнему пожароопасному периоду, надзора за выполнением требований Правил, реализации информационной поддержки стратегических мероприятий в долгосрочной перспективе. Использование процедур агрегации применяется для

масштабирования данных при решении задач управления на уровнях субъекта РФ и выше по иерархии РСЧС.

Множество логических связей между сущностями позволяет строить разные аналитические модели для оценки защищённости территорий, эффективности управления, стратегического планирования мероприятий по обеспечению пожарной безопасности и др. Связи таблиц определены ключевыми полями РК и FK. Основная таблица содержит первичный ключ РК, зависимая вторичный – FK. Они обеспечивают логическую целостность данных.



Геоинформационная подсистема		
1 Реестры	2 П/п характеристики	3 Топооснова
Населённые пункты СНТ Детские лагеря Объекты надзора Формирования Пожары	водисточники противопожарные разрывы проезды зоны повышенного риска	сельсоветы дороги водоёмы строения

Рис.1. – Структура противопожарных паспортов сельских территорий

Результаты решения задач предупреждения отражены в Таблице «*Мероприятия*». Накопление и обработка достаточного объёма данных о реализованных и спланированных мероприятиях позволит сформировать базу знаний рекомендательной подсистемы, применять методы поиска по аналогиям, экстраполяции, статистической обработки и другие.

Жёлтый фон имеют реестры, ведущиеся независимо. Они имеют пространственную привязку, что позволяет оперативно визуализировать все изменения.

Реестр *территорий* содержит данные о населённых пунктах, СНТ, детских оздоровительных лагерях. Поле «население» содержит данные о максимальном количестве людей, пребывающих на территории постоянно или временно.

Реестр *объектов* содержит данные об объектах надзора ГПН. Это промышленные предприятия, места хранения горючих материалов, объекты с массовым пребыванием людей. Для исключения дублирования целесообразна синхронизация с программным обеспечением «Электронный инспектор» и порталом контрольно-надзорной деятельности РФ. Наличие ссылок на электронные карточки пожаротушения позволяет решать задачи оперативного характера.

Реестр *формирований* включает данные всех подразделений – пожарных частей, добровольных пожарных команд и дружин, муниципальных постов пожарной охраны. При решении задач предупреждения других видов риска, в реестр необходимо включить, все подразделения территориальной системы РСЧС не зависимо от их ведомственной принадлежности.

Атрибуты событий в *электронных карточках учёта пожаров* (ЭКУП) разделены на три группы:

- описание объекта пожара (дата, адрес, вид строения). Данные по возгоранию автомобильного транспорта на межселенной территории рассматриваются только в случае решения задачи предупреждения пожаров, возникающих в результате ДТП;

- факторы, *осложняющие* тушение пожара. Помимо специального справочника к ним относят удалённость водоисточников, загромождение проездов, наличие взрывоопасных и легко воспламеняющихся материалов/веществ. Такие факторы идентифицируются при анализе динамики пожара. Агрегированный перечень факторов используется для обоснования планов мероприятий;

- *барьеры защиты*, способствующие эффективной ликвидации пожара. Примеры: наличие сигнализации, системы пожаротушения; тушение с постановкой на водоисточник. Связь с таблицей «Мероприятия» иллюстрирует изменение процесса реагирования на пожар в результате заблаговременных мер. Например, результат участия добровольцев отражается в значении поля «Руководитель тушения пожара» и косвенно – в снижении времени реагирования.

В *суточную строевую записку* необходимо включить помимо пожарных частей информацию о всех противопожарных формированиях. Данные о виде техники, инструмента и огнетушащих веществах, хранятся в отдельных справочниках, не показанных на схеме. Время прибытия формирований «привязано» не к территории, а к расписанию выездов. Совместный анализ данной таблицы и ЭКУП позволяет выявить «нестыковки» в планировании оперативных мероприятий.

Данные о *подготовке мероприятий* используются при оценивании эффективности деятельности органов местного самоуправления. Для построения аналитических моделей целесообразна организация информационного обмена с системами документооборота МЧС России и администрации субъектов РФ.

Для *картографического отображения* и анализа противопожарных паспортов в ГИС добавляются тематические слои водоисточников, зон повышенного риска, противопожарных преград и др. Состояние проездов хранится в атрибутивной информации слоёв «дороги» и «улицы». К зонам повышенного риска относятся разрывы минерализованных полос; участки

застройки, удалённые от водоисточников на расстояние, превышающее нормативное; а также строения, непосредственно примыкающие к лесу и бесхозные земельные участки. Расстояние между формированиями и защищаемыми территориями вычисляется автоматически. В СНТ полномасштабная оцифровка строений не проводилась и для ориентировки целесообразно отображать данные о проездах и границах участков.

Проведённые мероприятия изменяют атрибутивную информацию тематических слоёв. Поскольку для работы с информационными ресурсами используется хранилище данных, все корректировки фиксируются в служебных полях «дата изменения записи», «основание для изменения записи». Таким образом, осуществляется двойной контроль, а мероприятия отображаются на карте.

Наличие конкретных данных о плановых и фактических показателях позволяет ранжировать защищаемые объекты уровню рисков, защищённости по степени готовности. Качество управления возможно повысить за счёт анализа обратных связей – сопоставления процессов подготовки к ЧС с каталогом событий, позволяющих выявить слабые места и тиражировать успешный опыт по защите территорий.

Информационная поддержка управления рисками пожаров

Процесс принятия решений на основе предлагаемой структуры информационных ресурсов предполагает минимизацию наиболее трудоёмкого процесса – преобработки данных на уровне субъекта РФ. Предполагается использование сервисов распределённого сбора данных и непосредственное наполнение хранилища на объектовом и муниципальном уровнях [10]. Значительно повысит эффективность работы организация межсистемного информационного обмена. Это позволит экспертам и лицам, принимающим решения, акцентироваться на аналитическом моделировании, сравнении альтернативных решений, оптимизации мер с учётом ограничений ресурсов.

Сложность цифровизации задач управления предупредительными мероприятиями не позволяет разработать универсальную систему, которая будет использоваться в течение длительного жизненного цикла. Процесс проектирования осложнён отсутствием данных с единой структурой за длительный период. Постоянное изменение содержания исходной информации и отчётных документов затрудняет межведомственное согласование мер защиты территорий от пожаров.

Решением проблемы может стать *организационная модель управления*, описывающая полномочия акторов, процессы обработки данных и формирования решений, характеристики входной информации, а также уже принятые решения и нормативные документы. Для декомпозиции бизнес-процессов планирования и реализации управления пожарными рисками рассмотрим соответствующий фрагмент иерархии РСЧС – экземпляр организационной модели.

На Рис.2 элементы РСЧС и взаимодействующие органы власти, задействованные в решении задачи планирования и реализации превентивных мероприятий по снижению рисков пожаров. Решения формируются в подразделениях главных управлений МЧС России по субъектам РФ, противопожарных гарнизонах, региональных органах исполнительной власти, местного самоуправления, а также организаций, в полномочия которых входит решение вопросов защиты населения и территорий от пожаров. Для этого используется информация, описанная выше.

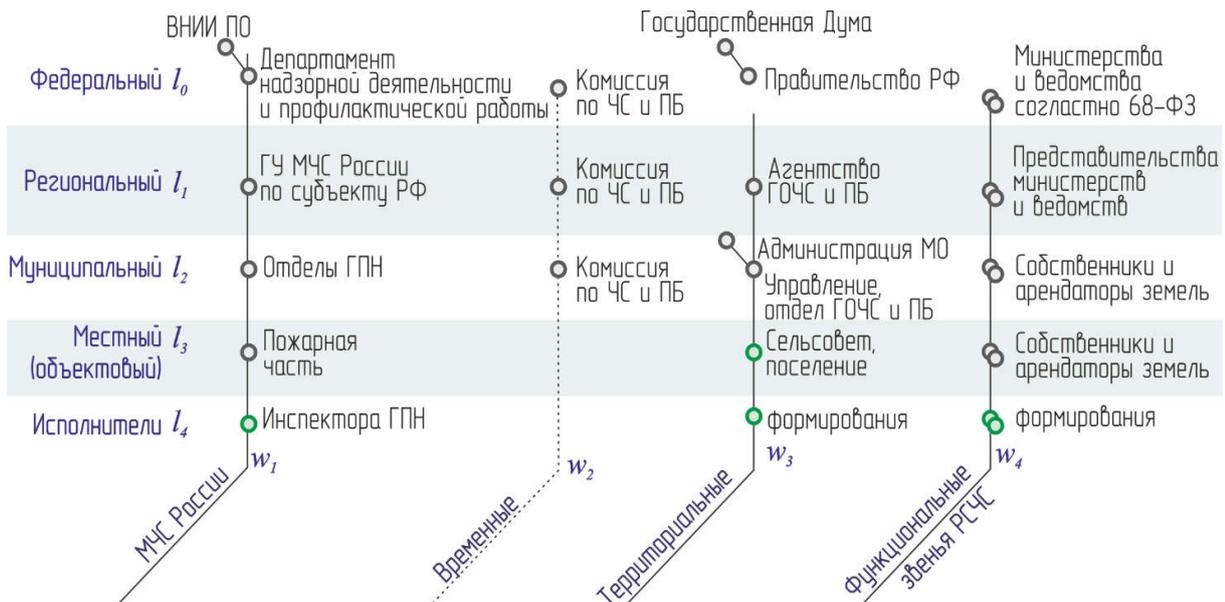


Рис.2. – Экземпляр иерархии органов власти и исполнителей для задачи предупреждения пожаров

Иерархия представлена уровнями управления l : федеральный l_0 , региональный l_1 , муниципальный l_2 ; объектовый l_3 . Для удобства формирования, выполняющие превентивные мероприятия, обозначены как l_4 . Реализовано как прямое подчинение элементов вертикали w , так и согласование действий по горизонтали l . Справа (w_4) показаны акторы, принимающие решения по снижению рисков перехода ландшафтных пожаров на населённые пункты и другие защищаемые объекты.

Основной технологией решения задач планирования предупредительных мероприятий является аналитическое моделирование. Процесс принятия решений декомпозируется на разведочный анализ и экспертное оценивание [11]. На первом этапе реализуется консолидация данных, проверка качества, актуальности и достоверности собираемых показателей. После этого эксперты определяют уровень риска территорий и приоритетность мероприятий. Многократное использование результатов аналитического моделирования, использование ретроспективных данных о характеристиках территорий и принятых решениях позволяет обосновать критерии оценивания и типизировать процессы решения разных задач управления.

Организационная модель управления позволяет обосновать распределённость информационных ресурсов, сервисов обработки данных в соответствии с полномочиями акторов иерархии РСЧС и реализуемыми бизнес-процессами. Это позволяет оперативно согласовывать управленческие решения органов управления и характер их взаимодействия. Использование атрибутов модели позволяет оптимизировать процессы создания единого информационного поля, проектирования и эксплуатации аналитических и интеллектуальных систем, гармонизации нормативно-правовой базы, регулирующих вопросы обеспечения безопасности территорий.

Заключение

Приведённый набор показателей и структура информационных ресурсов не являются окончательными. По мере накопления данных, решения конкретных задач управления будет возникать необходимость внесения правок. Наличие большого количества связей между сущностями даёт возможность разработки разнообразных аналитических моделей для планирования, обоснования мероприятий с учётом социально-экономического развития территорий, контроля результативности мероприятий на основе данных многолетнего мониторинга. Сбор данных пилотных территорий, а затем и Красноярского края в целом позволит реализовать переход от справочных и консультационных функций информационной

системы к распределённым интеллектуальным сервисам. Целостный мониторинг решения задач управления и практики реализации превентивных мер позволят обосновать предложения по корректировке нормативно-правовой базы, регулирующей управление пожарными рисками сельских территорий.

Список источников

1. Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шубин А.Н. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем. – М.:СИНТЕГ, 2004. 296 с.
2. Дранко О.И., Новиков Д.А., Райков А.Н., Чернов И.В. Управление развитием региона. Моделирование возможностей. – М.: ЛЕНАРД, 2023. – 452 с.
3. Шапарев Н.Я. Ресурсы Красноярского края в показателях устойчивого развития. – Красноярск: Изд-во КГПУ им. Астафьева В.П., 2009. – 352 с.
4. Акимов В.А., Мишурный А.В., Якимюк О.В. и др. Прогнозно-аналитические решения по природным, техногенным и биолого-социальным угрозам единой системы информационно-аналитического обеспечения безопасности среды жизнедеятельности и общественного порядка «Безопасный город» / Под ред. Чуприяна А.П. МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2022. – 316 с.
5. Ноженкова Л.Ф., Ничепорчук В.В. Технологии комплексной поддержки управления природно-техногенной безопасностью // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28. № 4. С. 109-121. DOI:10.25743/ICT.2023.28.4.009.
6. Переволоцкий В.С., Грибова В.В. Подход к автоматическому формированию баз знаний на основе онтологий // Научный аспект, 2023. Т. 2. № 2. – С. 213-221.
7. Кобринский Б.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: реперные точки / Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2021). Избранные научные труды XXIV Международной научной конференции, 2022. С. 38-45.
8. Массель Л.В., Массель А.Г. Семантическое моделирование при построении цифровых двойников энергетических объектов и систем // Онтология проектирования, 2023. Т. 13. № 1 (47). – С. 44-54.
9. Постников В.М., Черненький В.М. Методы принятия решений в системах организационного управления. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана Н.Э., 2014. – 205 с.
10. Коробко А.А., Ничепорчук В.В., Ноженков А.И. Динамическое формирование интерфейса ВЕБ-системы сбора данных мониторинга чрезвычайных ситуаций // Информатизация и связь, 2014. № 3. – С. 59-64.
11. Ничепорчук В.В., Пенькова Т.Г. Система аналитических показателей для стратегического контроля природно-техногенной безопасности территорий // Проблемы анализа риска, 2018. Т. 15. № 1. – С. 34-41.

References

1. Kulba V.V., Kononov D.A., Kosyachenko S.A., Shubin A.N. Methods for Forming Development Scenarios for Socio-Economic Systems. - M.: SINTEG, 2004. 296 p.
2. Dranko O.I., Novikov D.A., Raikov A.N., Chernov I.V. Regional Development Management. Modeling Possibilities. - M.: LENARD, 2023. - 452 p.
3. Shaparev N.Ya. Resources of Krasnoyarsk Krai in Indicators of Sustainable Development. - Krasnoyarsk: Publishing House of KSPU named after Astafiev V.P., 2009. - 352 p.
4. Akimov V.A., Mishurny A.V., Yakimyuk O.V. and others. Forecasting and analytical solutions for natural, man-made and biological-social threats of the unified system of information and analytical support for the safety of the living environment and public order "Safe City" / Ed. Chupriyan A.P. EMERCOM of Russia. Moscow: FGBU VNII GOChS (FC), 2022. - 316 p.
5. Nozhenkova L.F., Nicheporchuk V.V. Technologies for integrated support of natural and man-made safety management // Computational technologies. 2023. Vol. 28. №. 4. P. 109-121. DOI: 10.25743 / ICT. 2023.28.4.009.
6. Perevolotsky V.S., Gribova V.V. An approach to automatic formation of knowledge bases based on ontologies // Scientific aspect, 2023. Vol. 2. No. 2. – P. 213-221.

7. Kobrinsky B.A. Intelligent decision support systems: reference points / Enterprise engineering and knowledge management (IE&KM-2021). Selected scientific papers of the XXIV International Scientific Conference, 2022. P. 38-45.

8. Massel L.V., Massel A.G. Semantic modeling in the construction of digital twins of energy facilities and systems // Design ontology, 2023. Vol. 13. №. 1 (47). – P. 44-54.

9. Postnikov V.M., Chernenkiy V.M. Methods of decision-making in organizational management systems. Moscow: Publishing house of Moscow State Technical University. Bauman N.E., 2014. - 205 p.

10. Korobko A.A., Nicheporchuk V.V., Nozhenkov A.I. Dynamic formation of the interface of the WEB system for collecting emergency monitoring data // Informatization and Communications, 2014. №. 3. - P. 59-64.

11. Nicheporchuk V.V., Penkova T.G. System of analytical indicators for strategic control of natural and man-made safety of territories // Problems of Risk Analysis, 2018. Vol. 15. №. 1. - P. 34-41.

Информация об авторах

В.В. Ничепорчук – доктор технических наук

Information about the authors

V.V. Nicheporchuk – Dr. (Tech)

Статья поступила в редакцию 28.07.2024, одобрена после рецензирования 21.08.2024, принята к публикации 31.08.2024.

The article was submitted 28.07.2024, approved after reviewing 21.08.2024, accepted for publication 31.08.2024.

Научная статья
УДК 614.873
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.79.22.005

Оценка и анализ территориальных рисков здоровью населения от влияния климатических факторов

Ольга Викторовна Тасейко

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-0314-4881>

Автор ответственный за переписку: Ольга Викторовна Тасейко, taseiko@gmail.com

Аннотация. Предложена модель оценки риска повышения смертности населения от воздействия температурных волн. Модель учитывает вероятности возникновения волн жары и холода, уровень медицинского обслуживания, половозрастную структуру и показатели заболеваемости населения. С учетом локальных климатических особенностей городов Красноярского края наиболее высокие показатели риска от воздействия температурных волн обеих групп получены для городов Ачинск, Минусинск и Назарово, наименьшие значения рисков получены для населения городов Красноярск, Бородино, Боготол. Предложенная в работе модель оценки рисков здоровью населения от воздействия температурных волн может быть встроена в систему управления здоровьем населения на региональном и муниципальном уровнях.

Ключевые слова: вероятность возникновения волн жары и холода, биоклиматический индекс, риск здоровью от влияния климатических факторов, уровень медицинского обслуживания

Для цитирования: Тасейко О.В. Оценка и анализ территориальных рисков здоровью населения от влияния климатических факторов // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 78-88. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.79.22.005>.

Original article

ASSESSMENT AND ANALYSIS OF TERRITORIAL HEALTH RISKS CAUSED BY CLIMATIC FACTORS

Olga V. Taseiko

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-0314-4881>

Corresponding author: Olga V. Taseiko, taseiko@gmail.com

Abstract. This article proposes the model for assessment of risk mortality caused by temperature waves. The model takes into account the probability of occurrence of heat and cold waves, the level of medical care, the age and gender structure, and morbidity rates of the population. Taking into account the local climatic features of the cities of Krasnoyarsk Krai, the highest risk rates from exposure to temperature waves of both groups were obtained for the cities of Achinsk, Minusinsk, and Nazarovo, the lowest risk values were obtained for the population of the cities of Krasnoyarsk, Borodino, and Bogotol. The model for assessing health risks to population from exposure to temperature waves proposed in the work can be integrated into the health management system of the population at the regional and municipal levels.

Keywords: probability of heat and cold waves, bioclimatic index, health risk from the influence of climatic factors, level of medical care

For citation: Taseiko O.V. Assessment and analysis of territorial health risks caused by climatic factors // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2024. № 3 (34). С. 78-88. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.79.22.005>.

Введение

Важнейшим фактором устойчивого развития территории является здоровье, благополучие, безопасность и защищенность населения. Защита от прямого вреда экстремальных климатических явлений – одна из основных биофизических и психосоциальных потребностей человека [1].

Анализ состояния безопасности в природно-социальной сфере показывает, что угрозы, связанные с климатическими факторами, могут стать одними из доминирующих. Предупреждение природно-климатических опасностей может быть эффективным при разработке методологического комплекса анализа территорий на основе риск-ориентированного подхода. Оценки климатических рисков, могут стать основой для научно-обоснованных способов адаптации населения к природно-климатическим особенностям территорий. В настоящее время к факторам возникновения климатических рисков относят [2-10]:

- воздействие температурных волн (жары/холода) на здоровье населения;
- гидрологические опасные явления;
- загрязнение атмосферного воздуха и воздуха внутри помещений, включая аэроаллергены;
- насекомые-переносчики болезней человека;
- опасности, вызванные переносом водой инфекционных и химических загрязнителей.

Актуальность работы обусловлена Рамочной программой ООН об изменении климата, а также разработкой системы, объединяющей междисциплинарные исследования и стратегии общественного здравоохранения, что способствует расширению потенциала страны в области прогнозирования, предотвращения и смягчения рисков для здоровья, связанных с климатическими особенностями. Научно-обоснованные рекомендации и предложения по снижению рисков для здоровья должны основываться на выявлении районов высокой опасности и уязвимости населения к климатозависимым заболеваниям. Методы и подходы оценки рисков варьируется в широких пределах из-за географической неоднородности. Основное внимание большинства исследований направлены на изучение тепловых волн, в то время как волны холода остаются не учтенными. Кроме того, масштабы исследований, как правило, локальные, что не позволяет разрабатывать конкретные рекомендации по смягчению последствий и адаптации на региональном уровне. При этом разработанные индексы тепловой уязвимости на основе воздействия, чувствительности и способности к адаптации могут применяться для оценки риска на разных уровнях [8,10-19]. Эти подходы позволяют количественно оценивать относительный тепловой риск для выявления уязвимых территорий и принятия, соответствующих мер противодействия.

Наиболее целесообразным является анализ комплексного влияния климатических рисков, связанных с одновременным возникновением экстремальных погодных явлений и других опасных ситуаций, влияющих на здоровье человека [10]. Широкое применение получил подход по управлению климатическими рисками, основанный на Пятом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), основанный на производстве трех переменных: Н - опасность, Е - подверженность и V – уязвимость [8,10,20-21]. Представленная концепция описывает риск как функцию опасности, подверженности и уязвимости и рассматривает риск, как результат взаимодействия этих трех переменных. В [21] предложена также система оценки риска экстремальной жары (RAFEN),

которая включает такие переменные, как тепловая опасность, воздействие и уязвимость. Характеристики тепловой опасности включают экстремальные тепловые явления и их воздействие на здоровье населения, средства к существованию, инфраструктуру, предоставление услуг и т. д. Подверженность риску понимается, как близость людей или систем к экстремальной тепловой опасности. Уязвимость включает в себя чувствительность или восприимчивость к воздействию факторов окружающей среды и неспособность адаптироваться к изменениям [22]. В Российской Федерации наличие зависимости между уровнями смертности и климатическими факторами, такими как температурные волны, установлено в ряде исследований, выполненных для городов: Архангельск, Якутск, Астрахань, Красноярск, Москва и др. [2,14,23].

Для прогнозирования заболеваемости от температурных волн используют нелинейные модели с распределенным запаздыванием для изучения взаимосвязи между экспозицией, запаздыванием и реакцией ежедневной смертности на максимальное значение теплового показателя [21,22,24]. В задачах оценки относительного увеличения причинно-возрастных коэффициентов ежедневной смертности во время периодов жары и холода используется также обобщённая Пуассоновская регрессионная модель суточной смертности с поправкой на отсроченный характер воздействия, а также с учётом сезонного, еженедельного и многолетнего тренда [12].

Целью данной работы является развитие методологии анализа и оценки рисков здоровью населению от влияния климатических факторов с апробацией на примере городов Красноярского края.

Разработка модели оценки территориального риска здоровью населения от воздействия климатических факторов

Большая часть исследований по оценке влияния температурных волн на показатели смертности населения основывается на оценке относительного риска (RR), что не позволяет использовать полученные результаты для задач прогноза и управления рисками в условиях климатических изменений. Предлагаемый в работе подход позволяет получить вероятностные оценки возникновения опасных факторов и комплексные показатели риска здоровью населения. Что также позволяет сопоставлять полученные результаты с оценками воздействия на показатели здоровья от других факторов.

Для оценки риска повышения смертности от влияния климатических факторов предложена функция:

$$R_{\text{Р}}^{\text{КЛ}} = P_{\text{нф}} \cdot P_{\text{кф}} \cdot k_{\text{с}} \quad (1)$$

где $P_{\text{нф}}$ – вероятность появления негативного фактора (температурной волны), определена на основе данных государственной сети мониторинга;

$P_{\text{кф}}$ – вероятность статистически достоверного повышения смертности от действия фактора;

$k_{\text{с}}$ – коэффициент общей характеристики территории, муниципального образования по совокупности показателей заболеваемости, уровня медицинского обслуживания, характера влияния показателей внешней среды на здоровье населения.

Вероятность смерти в период действия климатического фактора $P_{\text{кф}}$ рассчитывается как отношение смертности в период воздействия фактора к общей смертности:

$$P_{\text{кф}} = d_{\text{ф}}/d_{\text{об}} \quad (2)$$

где $d_{\text{ф}}$ – смертность в период действия фактора за исследуемый период;

$d_{\text{об}}$ – общая смертность за весь период.

Вероятность возникновения негативного фактора оценивается по классической формуле вероятности наступления негативного события:

$$P_{\text{нф}} = N_{\text{д}} / (365 \cdot T_{\text{г}}) \quad (3)$$

где $N_{\text{д}}$ – количество дней в период действия фактора;

$T_{\text{г}}$ – исследуемый период, лет.

Для учета фоновых характеристик состояния здоровья, уровня медицинского обслуживания населения, климатических особенностей муниципальных образований и территорий предложен коэффициент общей характеристики территорий k_{ci} , который определяется из следующего соотношения:

$$k_{\text{ci}} = Z_i \cdot M_i \cdot B_i \quad (4)$$

где Z_i – количественная характеристика уровня заболеваемости для i -го региона (кол-во заболевших/1000 населения), учитываются заболевания, являющиеся климатозависимыми, для использования в расчетах каждый показатель нормировался на разницу между максимальным и минимальным значениями;

M_i – количественная характеристика уровня медицинского обслуживания i -го региона;

B_i – биоклиматическая характеристика территории.

Для оценки биоклиматической характеристики территории применяется уточненная нормальная эквивалентно-эффективная температура (НЭЭТ_у) [3-5]:

$$\text{НЭЭТ}_y = 37 - \frac{37 - T}{0,68 - 0,0024 \cdot U + \frac{1}{1,78 + 1,4 \cdot V^{0,75}}} - 0,29 \cdot T \cdot \left(1 - \frac{U}{100}\right) \quad (5)$$

где НЭЭТ_у – уточненная нормальная эквивалентно-эффективная температура, °С;

T – температура сухого термометра, °С; U – относительная влажность, %;

V – скорость ветра, м/с.

Выбор индекса НЭЭТ среди множества существующих связан с одновременным учётом в нём всех основных метеопараметров [3-4]. Для интерпретации результатов расчета используется классификация тепловой чувствительности по значениям НЭЭТ_у на основе групп чувствительности с 12- и 6-градусными ступенями [4]. Для перехода от НЭЭТ к коэффициенту B_i все значения нормировались на разницу между максимальным и минимальным значением ряда.

Количественная характеристика уровня медицинского обслуживания i -го региона M_i^* связана с отношением числа фактического количества медицинских учреждений на рассматриваемой территории к нормативному:

$$M_i^* = \frac{N_{\text{бо}}^i}{N_{\text{бо}}^{\text{н}}} + \frac{N_{\text{лпо}}^i}{N_{\text{лпо}}^{\text{н}}} + \frac{N_{\text{сбо}}^i}{N_{\text{сбо}}^{\text{н}}} + \frac{N_{\text{бк}}^i}{N_{\text{бк}}^{\text{н}}} + \frac{N_{\text{чв}}^i}{N_{\text{чв}}^{\text{н}}} + \frac{N_{\text{фа}}^i}{N_{\text{фа}}^{\text{н}}} + \frac{N_{\text{нл}}^i}{N_{\text{нл}}^{\text{н}}} \quad (6)$$

где N – фактическое (i) и нормативное ($н$) количество медицинских учреждений на рассматриваемой территории категорий:

бо - районные участковые больницы в составе ЦРБ и другие больничные отделения в составе ЛПО;

лпо - поликлинические отделения для взрослых в составе больничных организаций и других ЛПО;

сбо - амбулаторно-поликлинические организации других типов;

бк - поликлинические детские отделений (кабинетов) в составе больничных организаций и других ЛПО;

чв - бригады скорой помощи;

фа - фельдшерско-акушерские пункты;

д - диспансеры.

В случае отсутствия какого-либо показателя в статистических данных, его нормативное значение также обнуляется. Необходимое количество медицинских учреждений определялось согласно [25].

На первом этапе все показатели в формулах (1) – (6) были оценены для г. Красноярск, поскольку получение статистически достоверных значений вероятности смертности возможны для территорий с большой численностью населения (более 1 млн.).

С целью получения оценок для других территорий со сходными климатическими характеристиками применялась корректировка каждого показателя относительно фоновых значений. Учет фоновых показателей выполнялся для состояния заболеваемости населения Z_i (9), уровня медицинского обслуживания M_i (8) и климатических особенностей B_i (7).

Количественная характеристика уровня заболеваемости для i -го региона:

$$z_i = \frac{N_{\text{ОД}}^i}{N_{\text{ОД}}^{\text{кр}}} + \frac{N_{\text{ОК}}^i}{N_{\text{ОК}}^{\text{кр}}} \quad (7)$$

где $N_{\text{ОД}}^i$ – заболеваемость болезнями органов дыхания на рассматриваемой территории;

$N_{\text{ОК}}^i$ – заболеваемость болезнями органов кровообращения на рассматриваемой территории;

$N_{\text{ОД}}^{\text{кр}}$ – заболеваемость болезнями органов дыхания населения г. Красноярск;

$N_{\text{ОК}}^{\text{кр}}$ – заболеваемость болезнями органов кровообращения населения г. Красноярск;

Для учета уровня медицинского обслуживания в модели оценки риска (1) показатель для каждого района M_i^* корректируется на показатель для г. Красноярск $M_{\text{кр}}^*$:

$$M_i = \frac{M_i^*}{M_{\text{кр}}^*}. \quad (8)$$

В качестве биоклиматической характеристики территории B_i в работе используется отношение биоклиматического индекса i -ой территории к значению индекса для базовой территории (г. Красноярск):

$$B_i = \frac{\text{НЭЭТ}_y^i}{\text{НЭЭТ}_y^{\text{кр}}} \quad (9)$$

где НЭЭТ_y^i – биоклиматический индекс для рассматриваемой территории; $\text{НЭЭТ}_y^{\text{кр}}$ – биоклиматический индекс для г. Красноярск.

Результаты

Оценка климатических параметров (волны жары и холода, биоклиматический индекс) территории Красноярского края выполнялась с использованием данных государственной наблюдательной сети за период 2000-2023 гг. [26]. Оценка характеристик заболеваемости и уровня медицинского обслуживания, рассматриваемых территорий выполнялась по данным Красноярскстата [27]. Вероятность повышения смертности от влияния волн жары и холода оценивалась для г. Красноярск по суточным показателями смертности населения и характеристик волн жары за период с 2000 по 2018 гг. [2,28]. Все показатели в формулах (1) – (9) оценивались для городов Красноярского края, но оценки могут выполняться для любого муниципального образования, которое может быть городом или районом в соответствии с административно-территориальным делением выбранной территории.

Оценка рисков повышения смертности от воздействия волн жары и холода для городов Красноярского края выполнялась по тем климатозависимым заболеваниям и возрастным группам, для которых получены статистически значимые показатели повышения смертности [27]. Наибольшая зависимость показателей смертности от влияния температурных волн получена для людей, имеющих болезни кровообращения в возрасте 45 лет и старше независимо от возраста (Рис.1-2).

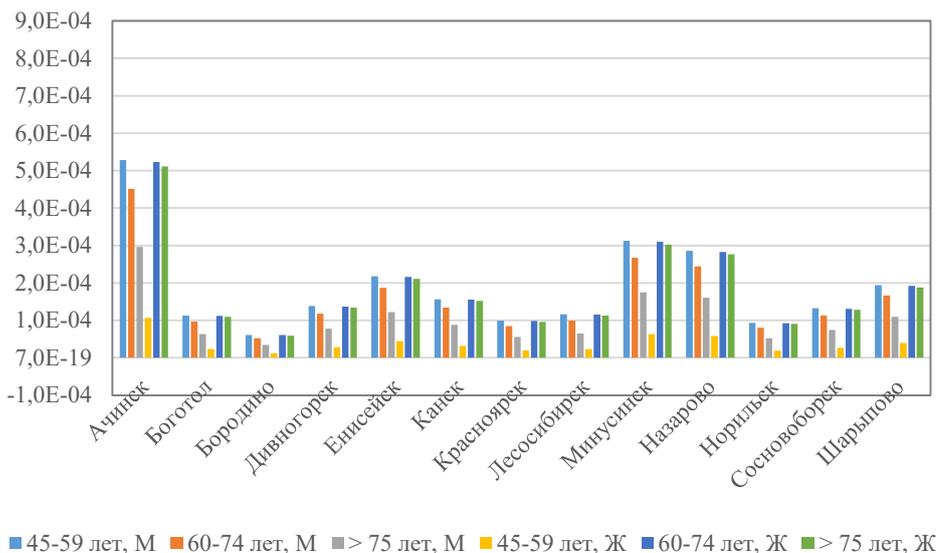


Рис.1. – Риск смертности от болезней системы кровообращения при воздействии волн жары по возрастным группам для городов Красноярского края (М-мужчины, Ж-женщины)

При этом риск от воздействия волн холода практически в два раза превышает риск от воздействия волн жары.

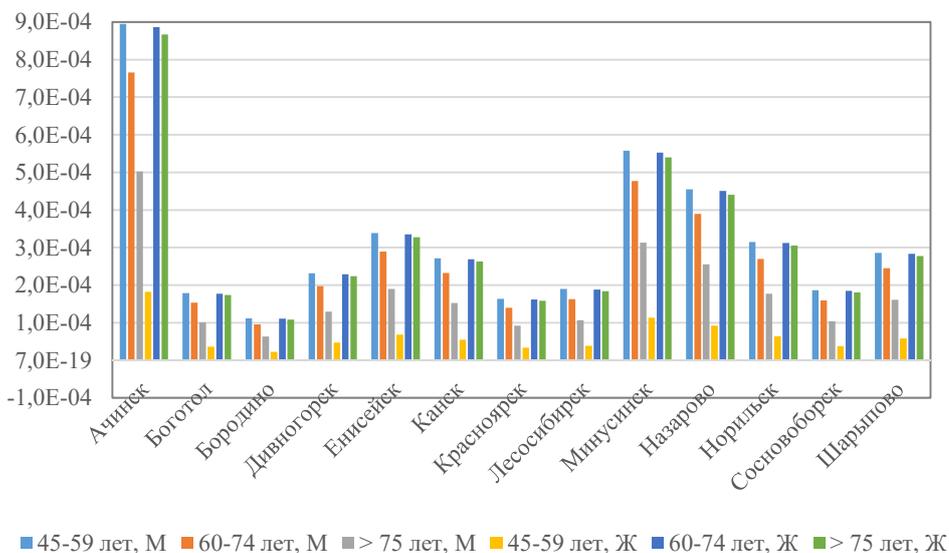


Рис.2. – Риск смертности от болезней системы кровообращения при воздействии волн холода по возрастным группам для городов Красноярского края (М-мужчины, Ж-женщины)

Среди населения, имеющего заболевания органов дыхания, наиболее чувствительными к воздействию температурных волн оказались мужчины в возрасте от 45 до 59 лет. (Рис.3).

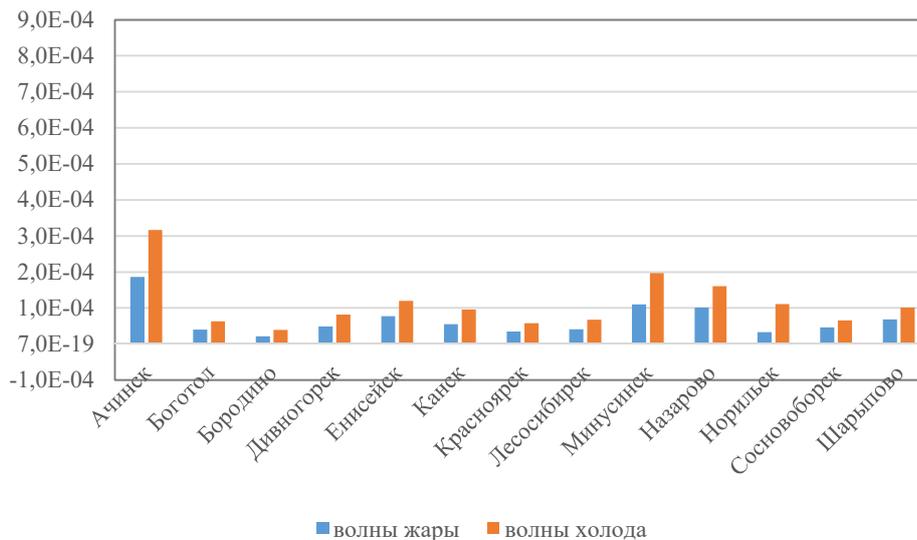


Рис.3. – Риск смертности от болезней органов дыхания при воздействии температурных волн для городов Красноярского края, мужчины, 45-59 лет

В целом волны холода оказывают большее влияние на повышение смертности населения городов Красноярского края, чем волны жары. Для г. Норильска, как самого северного из рассматриваемых характерно наиболее значительное превышение вероятности возникновения волн холода относительно волн жары – до четырех раз. Но особенности половозрастной структуры и уровня медицинского обслуживания привели к незначительным относительно других городов уровням риска. Локальные климатические особенности территорий приводят к тому, что риск от воздействия температурных волн обеих групп выше для городов Ачинск, Минусинск и Назарово. Наименьшие значения рисков получены для населения городов Красноярск, Бородино, Боготол. Но с учетом того, что в г. Красноярск проживает треть населения края, общий уровень негативного воздействия температурных волн в столице края будет значительно выше. Тем не менее, разрабатывать механизмы адаптации населения к негативному воздействию климатических факторов необходимо для всех территорий края, включая Северные и Арктические районы.

Для получения значений комплексного риска от влияния негативных факторов окружающей среды возможно включение в модель оценок рисков от влияния загрязнения воздуха, которое в наибольшей степени проявится для городов Красноярск и Норильск.

Заключение

Предложенная в работе модель оценки рисков здоровью населения от воздействия температурных волн может быть встроена в систему управления здоровьем населения на региональном и муниципальном уровнях. Разработанная модель позволяет учитывать локальные особенности факторов, воздействующих на здоровье населения, так и факторов, которые могут являться управляющими воздействиями. Модель может быть адаптирована к территориям с другими климатическими характеристиками в случае наличия базы статистической информации о суточных показателях смертности населения и изменениях факторов воздействия, таких как температурные волны, или любых других. Полученные результаты могут быть использованы для разработки стратегий повышения защищённости населения на территориях с суровым климатом, поскольку освоение Арктических территорий является в настоящее время стратегически важной задачей.

Результаты подобных исследований могут быть полезны в предоставлении научной информации для разработки национальной стратегии политики адаптации здоровья человека в условиях изменения климата и интенсификации антропогенного воздействия. Полученные

данные возможно также использовать при разработке мероприятий, направленных на сокращение смертности трудоспособного населения и при формировании социальной политики региона, эффективная реализация которой является одним из факторов, существенно влияющих на степень стабильности государственной деятельности.

Список источников

1. Мишаткина Т.В. Экологическая безопасность в обществе риска / Журнал Белорусского государственного университета. Экология, 2021. – №1. – С. 4-14. [Электронный ресурс]. – URL:<https://journals.bsu.by/index.php/ecology/article/view/3866>.
2. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок «Региональные проблемы безопасности». Раздел II. Территориальные риски регионов Сибири. Кузбасс. Енисейская Сибирь. Байкал. / Науч. руков. чл.-корр. РАН Махутов Н.А., под ред. Москвичева В.В. – М.: МГОФ «Знание», 2024. – 624 с.
3. Ревич Б.А. Меняющийся климат и здоровье населения: проблемы адаптации / Б. А. Ревич. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук, 2023. 168 с.
4. Капон А. Использование урбанизации для благополучия человека и здоровья планеты. *The Lancet Planetary Health* 2017, 1, стр. 6–7.
5. Braneon C., Ortiz L., Bader D., Devineni N., Orton P., Rosenzweig B., McPhearson T., Smalls-Mantey L., Gornitz V., Mayo T., Kadam S., Sheerazi H., Glenn E., Yoon L., Derras-Chouk A., Towers J., Leichenko R., Balk D., Marcotullio P., Horton R. (2024). NPCC4: Информация о климатических рисках в Нью-Йорке на 2022 год: наблюдения и прогнозы. *Анналы Нью-Йоркской академии наук*.
6. González J.E., Ortiz L., Smith B.K., Devineni N., Colle B., Booth J.F., Ravindranath A., Rivera L., Horton R., Towey K., Kushnir Y., Manley D., Bader D., Rosenzweig C. (2019). Доклад Нью-Йоркской городской группы экспертов по изменению климата за 2019 год. Глава 2: Новые методы оценки экстремальных температур, сильных дождей и засух. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1439, 30–70.
7. Национальное управление океанических и атмосферных исследований. HEAT.gov - Национальная интегрированная система информации о состоянии здоровья в условиях жары. (2023). [Электронный ресурс]. – URL:<https://www.heat.gov/>.
8. Ortiz L., Braneon C.V., Horton R., Bader D., Orton P.M., Gornitz V., Rosenzweig B.R., McPhearson T., Smalls-Mantey L., Sheerazi H., Montalto F.A., Goldhandan M.R., Evans C., DeGaetano A.T., Mallen E., Carter L., McConnell K., Mayo T.L. (2024). NPCC4: Хвостовой риск, климатические факторы экстремальной жары и новые методы прогнозирования экстремальных событий. *Анналы Нью-Йоркской академии наук*.
9. Kinney P.L., Matte T., Knowlton K., Madrigano J., Petkova E., Weinberger K., Quinn A., Arend M., Pullen J. (2015). Отчет Нью-Йоркской группы экспертов по изменению климата за 2015 год. Глава 5: Влияние на общественное здоровье и устойчивость. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1336, 67–88.
10. Винер Д., Экстром М., Халберт М., Уорнер Н.К., Рефорд А., Зоммерс З. (2020). Понимание динамической природы риска в оценках изменения климата — новая отправная точка для обсуждения. *Atmospheric Science Letters*, 21, 1–8.
11. Шервуд С.К., Хубер М. (2010). Предел адаптации к изменению климата из-за теплового стресса. *Труды Национальной академии наук Соединенных Штатов Америки*, 107, 9552–9555.
12. Парлиари Д., Кеппас С., Пападогианнаки С., Пападопулос Г., Контос С., Мелас Д. Прогнозы смертности, связанной с жарой, под воздействием изменения климата в Салониках, Греция. *Environ. Sci. Proc.* 2023, 26, 6072.
13. Пападопулос Г., Кеппас С.К., Парлиари Д., Контос С., Пападогианнаки С., Мелас Д. Будущие прогнозы волн тепла и связанного с ними риска смертности в прибрежном средиземноморском городе. *Устойчивое развитие* 2024, 16, 1072.
14. Шапошников Д.А. Оценка зависимости избыточной смертности населения в городах Арктического макрорегиона от температурных волн / Шапошников Д.А., Ревич Б. А. // *Экология человека*. – 2023. – № 4. – С. 287-300.

15. Heaton M.J., Sain S.R., Greasby T.A., Uejio C.K., Hayden M.H., Monaghan A.J., Boehnert J., Sampson K., Banerjee D., Nepal V. и др. Характеристика городской уязвимости к тепловому стрессу с использованием модели с пространственно изменяющимся коэффициентом. *Spat. Пространственно-временная эпидемиология*. 2014, 8, 23–33.
16. Иностранца Л., Пальме М., де ла Баррера Ф. Индекс уязвимости к теплу: пространственные закономерности воздействия, чувствительности и адаптивной способности для Сантьяго-де-Чили. *PLoS ONE* 2016, 11, e0162464.
17. Mushore T.D., Mutanga O., Odindi J., Dube T. Определение уязвимости мегаполиса Хараре к экстремальной жаре с использованием многоспектрального дистанционного зондирования и социально-экономических данных. *J. Spat. Sci.* 2017, 63, 173–191.
18. Мендес-Лазаро П., Мюллер-Каргер Ф.Э., Отис Д., Маккарти М.Дж., Родригес Э. Индекс уязвимости к жаре для улучшения управления городским общественным здравоохранением в Сан-Хуане, Пуэрто-Рико. *Int. J. Biometeorol.* 2018, 62, 709–722.
19. Voelkel J., Hellman D., Sakuma R., Shandas V. Оценка уязвимости к городской жаре: исследование непропорционального воздействия тепла и доступа к убежищу по социально-демографическому статусу в Портленде, штат Орегон. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2018, 15, 640.
20. МГЭИК. Изменение климата 2014: Воздействия, адаптация и уязвимость. Резюме, часто задаваемые вопросы и перекрестные вставки по главам. Вклад рабочей группы II в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата; Всемирная метеорологическая организация: Женева, Швейцария, 2014.
21. Томас Мэтт, Кэтрин Лейн, Дженна Ф. Типальдо, Дженис Барнс, Ким Ноултон, Эмили Торем, Гоури Ананд, Лив Юн, Питер Маркотулло, Дебора Балк, Хуанита Констибл, Хейли Эльсас, Казухико Ито, Сонал Джессел, Виджай Лимэй, Робби Паркс, Мэллори Рутильяно, Сесилия Соренсон, Ариэль Юань. (2024) NPCC4: Изменение климата и риск для здоровья Нью-Йорка, *Анналы Нью-Йоркской академии наук*.
22. Rosenzweig C., Solecki W. (2019). Нью-Йоркская группа экспертов по изменению климата, отчет 2019 г., глава 1: Введение. *Анналы Нью-Йоркской академии наук*, 1439, 22–29.
23. Ревич Б.А. Динамика смертности и ожидаемой продолжительности жизни населения арктического/приарктического региона России в 1999-2014 годах / Ревич Б.А., Харьковская Т.Л., Подольная М.А. // *Экология человека*. 2017. № 9. С. 48-58.
24. Тасейко О.В. Оценка влияния факторов окружающей среды на показатели смертности населения старших возрастных групп на примере Г. Красноярск / Тасейко О.В., Черных Д.А. // *Проблемы управления*. – 2021. – № 5. – С. 60-69.
25. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 27 февраля 2016 г. N 132н «О Требованиях к размещению медицинских организаций государственной системы здравоохранения и муниципальной системы здравоохранения исходя из потребностей населения». Введ. с 15.04.2016. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71260614/>.
26. Архив погоды. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rp5.ru/> (дата обращения 20.08.2024).
27. Управление Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю, Республике Хакасия и Республике Тыва. [Электронный ресурс]. – URL: <https://24.rosstat.gov.ru/folder/27812>.
28. Черных Д.А. Оценка риска повышения смертности от температурных волн для населения города Красноярск / Черных Д.А., Тасейко О.В. // *Экология человека*. – 2018. – № 2. – С. 3-8.

References

1. Mishatkina T.V. Ecological security in risk society. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2021. № 1. P. 4-14. [Electronic resource]. – Access mode: <https://journals.bsu.by/index.php/ecology/article/view/3866>.
2. Safety of Russia. Legal, socio-economic and scientific-technical aspects. Thematic block “Regional security problems”. Section II. Territorial risks of the regions of Siberia. Kuzbass. Yenisei

Siberia. Baikal. / Scientific management Corresponding member RAS Makhutov N.A., edited by Moskvichev V.V. – M: «Znanie», 2024. – 624 p.

3. Revich B.A. Changing climate and public health: problems of adaptation: scientific report. 2023. 168 p. <https://doi.org/10.47711/srl-2023>.

4. Capon A. (2017). Harnessing urbanisation for human wellbeing and planetary health. *The Lancet Planetary Health*, 1, e6–e7.

5. Braneon C., Ortiz L., Bader D., Devineni N., Orton P., Rosenzweig B., McPhearson T., Smalls-Mantey L., Gornitz V., Mayo T., Kadam S., Sheerazi H., Glenn E., Yoon L., Derras-Chouk A., Towers J., Leichenko R., Balk D., Marcotullio P., Horton R. (2024). NPCC4: NYC climate risk information 2022: Observations and projections. *Annals of the New York Academy of Sciences*.

6. González J.E., Ortiz L., Smith B.K., Devineni N., Colle B., Booth J.F., Ravindranath A., Rivera L., Horton R., Towey K., Kushnir Y., Manley D., Bader D., Rosenzweig C. (2019). New York City Panel on Climate Change 2019 Report Chapter 2: New methods for assessing extreme temperatures, heavy downpours, and drought. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1439, 30–70.

7. National Oceanic and Atmospheric Administration. HEAT.gov - National integrated heat health information system. (2023). [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.heat.gov/>.

8. Ortiz L., Braneon C.V., Horton R., Bader D., Orton P.M., Gornitz V., Rosenzweig B.R., McPhearson T., Smalls-Mantey L., Sheerazi H., Montalto F.A., Goldhandan M.R., Evans C., DeGaetano A.T., Mallen E., Carter L., McConnell K., Mayo T.L. (2024). NPCC4: Tail risk, climate drivers of extreme heat, and new methods for extreme event projections. *Annals of New York Academy of Sciences*.

9. Kinney P.L., Matte T., Knowlton K., Madrigano J., Petkova E., Weinberger K., Quinn A., Arend M., Pullen J. (2015). New York City Panel on Climate Change 2015 Report. Chapter 5: Public health impacts and resiliency. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1336, 67–88.

10. Viner D., Ekstrom M., Hulbert M., Warner N. K., Wreford A., Zommers Z. (2020). Understanding the dynamic nature of risk in climate change assessments—A new starting point for discussion. *Atmospheric Science Letters*, 21, 1–8.

11. Sherwood S.C., Huber M. (2010). An adaptability limit to climate change due to heat stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 9552–9555.

12. Parliari D., Keppas S., Papadogiannaki S., Papadopoulos G., Kontos S., Melas D. Projections of Heat-Related Mortality under the Impact of Climate Change in Thessaloniki, Greece. *Environ. Sci. Proc.* 2023, 26, 6072.

13. Papadopoulos G., Keppas S.C., Parliari D., Kontos S., Papadogiannaki S., Melas D. Future Projections of Heat Waves and Associated Mortality Risk in a Coastal Mediterranean City. *Sustainability* 2024, 16, 1072.

14. Shaposhnikov D.A., Revich B.A., Impact of heat waves and cold spells on mortality in cities located in the Russian Arctic macroregion. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023, 30(4):287–300.

15. Heaton M.J., Sain S.R., Greasby T.A., Uejio C.K., Hayden M.H., Monaghan A.J., Boehnert J., Sampson K., Banerjee D., Nepal V., et al. Characterizing urban vulnerability to heat stress using a spatially varying coefficient model. *Spat. Spatio-Temporal Epidemiol.* 2014, 8, 23–33.

16. Inostroza L., Palme M., de la Barrera F.A. Heat Vulnerability Index: Spatial Patterns of Exposure, Sensitivity and Adaptive Capacity for Santiago de Chile. *PLoS ONE* 2016, 11, e0162464.

17. Mushore T.D., Mutanga O., Odindi J., Dube T. Determining extreme heat vulnerability of Harare Metropolitan City using multispectral remote sensing and socio-economic data. *J. Spat. Sci.* 2017, 63, 173–191.

18. Mendez-Lazaro P., Muller-Karger F.E., Otis D., McCarthy M.J., Rodriguez E.A. heat vulnerability index to improve urban public health management in San Juan, Puerto Rico. *Int. J. Biometeorol.* 2018, 62, 709–722.

19. Voelkel J., Hellman D., Sakuma R., Shandas V. Assessing Vulnerability to Urban Heat: A Study of Disproportionate Heat Exposure and Access to Refuge by Socio-Demographic Status in Portland, Oregon. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2018, 15, 640.

20. IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summaries, Frequently Asked Questions, and Cross-Chapter Boxes. In A Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland, 2014.

21. Thomas Matte, Kathryn Lane, Jenna F. Tipaldo, Janice Barnes, Kim Knowlton, Emily Torem, Gowri Anand, Liv Yoon, Peter Marcotullio, Deborah Balk, Juanita Constible, Hayley Elszasz, Kazuhiko Ito, Sonal Jessel, Vijay Limaye, Robbie Parks, Mallory Rutigliano, Cecilia Sorenson, Ariel Yuan. (2024) NPCC4: Climate change and New York City's health risk, *Annals of New York Academy of Sciences*.

22. Rosenzweig C., Solecki W. (2019). New York City Panel on Climate Change 2019 Report Chapter 1: Introduction. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1439, 22–29.

23. Revich B.A. Mortality dynamics and life expectancy of population of Arctic/Cubarttic region of Russian Federation in 1999-2014 / Revich B.A., Kharkova T.L., Podolnaya M.A. // *Human ecology*. 2017. № 9. P. 48-58.

24. Taseiko O.V., Chernykh D.A. Estimating the influence of environmental factors on mortality in elder age groups: an example of Krasnoyarsk. *Control Sciences*. 2021. №. 5. P. 53-60.

25. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated 02.27.2016 №. 132n "On the requirements for the placement of medical organizations of the State health system and the municipal health system based on the needs of the population" (Registered 03.22.2016 №. 41485).

26. Weather Archive. [Electronic resource]. – Access mode: <http://rp5.ru/> (date accessed 20.08.2024).

27. Health care. Department of the Federal State Statistics Service for the Krasnoyarsk Territory, the Republic of Khakassia and the Republic of Tyva. [Electronic resource]. – Access mode: <https://24.rosstat.gov.ru/>.

28. Chernykh D.A., Taseiko O.V. Assessment of the risk mortality from thermal waves in Krasnoyarsk city. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2018. 3-8.

Информация об авторах

О.В. Тасейко - кандидат физико-математических наук, доцент

Information about the author

O.V.Taseiko - Ph.D. of physical and mathematical Sciences, Associate Professor

Статья поступила в редакцию 29.07.2024, одобрена после рецензирования 22.08.2024, принята к публикации 01.09.2024.

The article was submitted 29.07.2024, approved after reviewing 22.08.2024, accepted for publication 01.09.2024.

Научная статья
УДК 630; 502.45; 630*426.1
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.88.73.006

Априорная оценка оправдываемости прогнозов количества лесных пожаров в Якутии на 2024 и 2025 гг. с учетом изменений потоков космических лучей и солнечной активности

Александр Вадимович Холопцев¹

Наталья Юрьевна Проскова²

Роман Геннадьевич Шубкин³

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия,

¹<https://orcid.org/0000-0002-9757-5219>

²<https://orcid.org/0009-0000-0068-2968>

³<https://orcid.org/0000-0002-7163-8146>

Автор ответственный за переписку: Наталья Юрьевна Проскова, knd@sibpsa.ru

Аннотация. Долгосрочные прогнозы изменений количества лесных пожаров, выявляемых за год на территории Якутии, необходимо учитывать при принятии управляющих решений по обеспечению пожарной безопасности региона. Цель данной работы - разработка и оценка оправдываемости прогнозов количества лесных пожаров для территории Якутии на 2024 и 2025 годы с учетом изменений потоков космических лучей и солнечной активности. Для ее достижения, среди указанных факторов определены предикторы прогностической модели изучаемых процессов, учет которых обеспечивал удовлетворительную оправдываемость рассматриваемых прогнозов на 2017 – 2023гг. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в 2000 – 2023 гг. сценарий изучаемого процесса был близок к консервативному. Из разработанных прогнозов следует, что, если сценарий дальнейших изменений пожарной опасности в Якутии сохранится таким же, количество лесных пожаров, которые в 2024 и в 2025 годах возникнут на ее территории, не превысит уровень 2023 года. Разработанные прогнозы целесообразно учитывать при планировании основных мероприятий соответствующих функциональных подсистем Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: Республика Саха (Якутия), горимость лесов, солнечная активность, термический режим, поток вторичных космических лучей, оценка, прогноз

Для цитирования: Холопцев А.В., Проскова Н.Ю., Шубкин Р.Г. Априорная оценка оправдываемости прогнозов количества лесных пожаров в Якутии на 2024 и 2025 гг. с учетом изменений потоков космических лучей и солнечной активности // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С.89-99. [https://doi.org/ 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.88.73.006](https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.88.73.006).

Original article

A PRIORI ASSESSMENT OF THE FEASIBILITY OF FORECASTS OF THE NUMBER OF FOREST FIRES IN YAKUTIA FOR 2024 AND 2025 TAKING INTO ACCOUNT CHANGES IN COSMIC RAY FLUXES AND SOLAR ACTIVITY

*Alexander V. Kholoptsev*¹

*Natalya Yu. Proskova*²

*Roman G. Shubkin*³

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia,

¹<https://orcid.org/0000-0002-9757-5219>

²<https://orcid.org/0009-0000-0068-2968>

³<https://orcid.org/0000-0002-7163-8146>

Corresponding author: *Natalya Yu. Proskova, knd@sibpsa.ru*

Abstract. Long-term forecasts of changes in the number of forest fires detected per year on the territory of Yakutia should be taken into account when making management decisions to ensure fire safety in the region. The purpose of this work is to develop and assess the feasibility of forecasts of the number of forest fires for the territory of Yakutia for 2024 and 2025, taking into account changes in cosmic ray fluxes and solar activity. To achieve this goal, among the factors mentioned above, the predictors of the prognostic model of the processes under study were determined, taking into account which provided satisfactory justifiability of the forecasts under consideration for 2017 - 2023. The obtained results indicate that in 2000 - 2023 the scenario of the studied process was close to the conservative one. It follows from the developed forecasts that if the scenario of further changes in fire danger in Yakutia remains the same, the number of forest fires that will occur on its territory in 2024 and 2025 will not exceed the level of 2023. It is advisable to take into account the developed forecasts when planning the main activities of the relevant functional subsystems of the Unified State System for Prevention and Elimination of Emergency Situations.

Keywords: Republic of Sakha (Yakutia), forest burning, solar activity, thermal regime, secondary cosmic ray flux, assessment, prediction

For citation: Kholoptsev A.A., Proskova N.Yu., Shubkin R.G. A priori assessment of the feasibility of forecasts of the number of forest fires in Yakutia for 2024 and 2025, taking into account changes in cosmic ray fluxes and solar activity // *Siberian Fire and Rescue Bulletin*.2024. № 3 (34). С. 89-99. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.88.73.006>.

Введение

Количество лесных пожаров (далее КЛП), произошедших за год на территории того или иного региона России является одним из основных показателей горимости его лесов, и во многом определяет уровень пожарного риска, которому подвергалось его население и экономика. Поэтому долгосрочные прогнозы этого показателя [1] для различных ее регионов, необходимо принимать во внимание при планировании деятельности соответствующих функциональных подсистем Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее РСЧС).

Вместе с тем, методик прогнозирования, которые гарантировали бы удовлетворительную оправдываемость таких прогнозов, не предложено. Установлено, что оправдываемость подобных прогнозов существенно зависит от сценария дальнейших изменений горимости изучаемых лесов, а также от набора факторов, которые учитывались при их разработке.

Наибольший интерес решение указанной проблемы представляет для регионов России, обладающих значительными лесными ресурсами, одним из которых является Республика Саха (Якутия) (далее РС).

Зависимости от времени количества ландшафтных пожаров (далее КЛП) на территории РС, построенные по данным [3], представлены на Рис. 1.

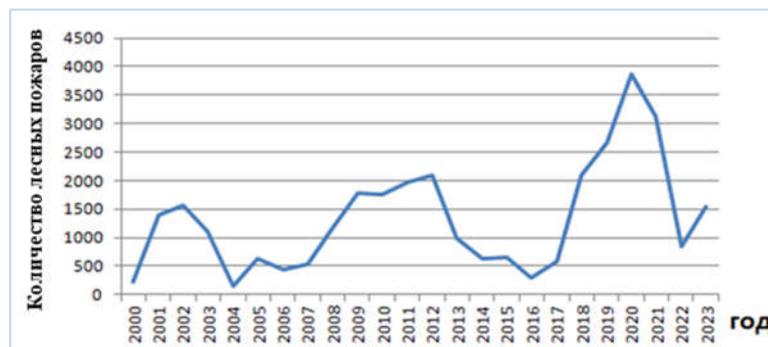


Рис.1. Зависимости от времени КЛП на территории РС, построенные по данным

Как видим из Рис. 1, изменения КЛП на территории РС в период 2000 – 2023 гг. представляли собой сложное колебание с периодом основной моды около 10 – 11 лет. Последнее позволяет предположить возможность долгосрочного прогнозирования этого процесса, с учетом факторов, имеющих ту же периодичность, при условии, что сценарий дальнейших изменений его состояния окажется близким к консервативному.

Одной из причин изменения КЛП являются вариации средних за пожароопасный сезон значений температур земной поверхности, а также приземного слоя атмосферы, которые непосредственно влияют на изменения интенсивности испарения влаги из горючего материала [4]. Такие вариации, как правило, являются следствием соответствующих изменений оптической плотности облачности, которая располагается над соответствующими территориями и влияет на интенсивность их инсоляции.

Указанная характеристика этой облачности во многом зависит от интенсивности ионизации воздуха соответствующих слоев тропосферы, приводящей к образованию в нем весьма эффективных атмосферных ядер конденсации или кристаллизации [5].

Главным фактором ионизации воздуха тропосферы являются проникающие в нее космические лучи (далее КЛ), потоками которых, благодаря Форбуш-эффекту [6], управляет солнечная активность [5]. Вследствие последнего квазициклически изменяются не только солнечная активность, но и среднегодовые потоки КЛ.

Продолжительности циклов как солнечной активности, так и изменчивости потоков КЛ составляют 10 – 11 лет.

Значительная амплитуда изменений КЛП на территории РС, а также значения продолжительностей их циклов, близкие к 11 годам, позволяют предположить, что влияние на изучаемый процесс упомянутых факторов в 2000 – 2023 гг. являлось значимым и может остаться таковым и в будущем.

Учитывая это, целью данной работы являлась проверка выдвинутой гипотезы, а также оценка АОО рассматриваемых прогнозов КЛП для территории РС.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Определение сдвигов по времени между изменениями КЛП для территории РС и рассматриваемыми их факторами, при которых статистические связи между ними в современном периоде значимо усиливались.
2. Оценка АОО долгосрочных прогнозов изменений КЛП для территории РС, которые разработаны с применением указанного подхода и с учетом выявленных факторов.
3. Разработка таких прогнозов на 2024 и 2025 годы.

Фактический материал и методика исследования

Как фактический материал использована информация о значениях КЛП на территории РС для каждого года из периода 2000 – 2023 гг., представленная в [3].

Также рассматривались сведения об изменениях за период с 1989 по 2023 гг. среднегодовых значений индекса Solar [7] и потоков КЛ, поступающих в тропосферу, которые зафиксированы на параллелях $55^{\circ} 56' \text{с.ш.}$ и $68^{\circ} 58' \text{с.ш.}$ [8].

Из указанного фактического материала сформированы изучаемые временные ряды. Как показал предварительный анализ связей между ними, значение коэффициента корреляции между временными рядами рассматриваемых характеристик КЛ, соответствующих упомянутым пунктам, равно 0,98, при количестве степеней их свободы 65. Так как среднегодовые значения потоков КЛ практически не зависят от долготы участка, на котором они регистрируются, полученная оценка позволяет утверждать, что эти временные ряды репрезентативны также для всех лесопокрытых территорий РС (которые в основном расположены между такими же параллелями). Последнее позволило дальнейшие исследования проводить с использованием информации о среднегодовых потоках КЛ, основанной на результатах их мониторинга в г. Долгопрудный.

Методика решения первой задачи предполагала изучение статистических связей между изучаемым процессом и его факторами с применением метода корреляционного анализа.

Из временного ряда КЛП сформировано 7 отрезков, соответствующих периодам времени продолжительностью по 18 лет: 2000 – 2017 гг., 2001 – 2018 гг. ..., 2006 – 2023 гг., начала которых различаются по времени на 1 год.

Изучались взаимокорреляционные функции (далее ВКФ) каждого из этих отрезков с рядами Solar и КЛ. Определялись сдвиги по времени между началами отрезков упомянутых рядов и началами рассматриваемых отрезков ряда КЛП, при которых их корреляция с достоверностью 0,95 являлась значимой и усиливалась по мере увеличения года начала последних.

Поскольку каждый рассматриваемый отрезок содержит 18 членов, пороговый уровень, при превышении которого значением модуля коэффициента корреляции сопоставляемых рядов, вывод о значимости связи между ними характеризуется достоверностью не менее 0,95 (по критерию Стьюдента) равен 0,46. Учитывая это, для каждого отрезка определены упомянутые выше сдвиги, а из соответствующих значений ВКФ сформированы временные ряды, содержащие по 7 членов. Для каждого такого ряда определено значение углового коэффициента его линейного тренда. Решение об усилении соответствующей связи принималось, если достоверность вывода о значимости углового коэффициента такого тренда, составляла не менее 0,95, а среднее значение ВКФ совпадало с ним по знаку.

С учетом выявленных сдвигов, из временных рядов Solar и КЛ сформированы их отрезки длиной 18 лет, опережающие по времени каждый отрезок ряда КЛП, которые использованы далее в качестве предикторов линейной множественно регрессионной модели (далее модель).

При решении задачи 2 осуществлена верификация модели, соответствующей каждому отрезку ряда КЛП, предикторами которой являются выявленные отрезки рядов КЛ и Solar. Для этого, с применением программы Multiply Regression в режиме All effects, из пакета Statistika, определены значения ее коэффициентов C_0, C_1, \dots, C_N .

С использованием коэффициентов, полученных для каждого отрезка ряда КЛП, а также значений КЛ и Solar, соответствующих следующим по времени отрезкам этого ряда, с использованием уравнения линейной множественной регрессии вычислены прогнозы изучаемого процесса с заблаговременностью 1 и 2 года.

Нетрудно видеть, что в каждом отрезке ряда КЛП его члены со 2-го по 18-й, совпадают с 1 – 17 членами из следующего отрезка. Лишь 18-е значение этого показателя из следующего окна, а также соответствующие значения предикторов модели, являются новыми. Поэтому вычисленное в результате указанной подстановки значение Y_{18} представляет собой прогноз изучаемого процесса с заблаговременностью 1 год, а значения $Y_1 - Y_{17}$ – фактически совпадают с результатами его моделирования.

Как АОО прогноза КЛП, разработанного с учетом выявленных факторов, рассматривалась частота, с которой тенденция изменения его прогнозируемого значения на отрезке времени (Y_{17} ; Y_{18}) совпадала с его фактической тенденцией. Кроме того, вычислялись значения смещения и среднеквадратического отклонения разности фактического и прогнозируемого значения КЛП.

Так как всего отрезков ряда КЛП сформировано 7, общие количества прогнозов этого показателя с заблаговременностью 1 и 2 года, по которым вычислялись значения АОО, составляли соответственно 6 и 5.

При решении третьей задачи сформированы два временных ряда, соответствующие отрезкам времени 2007 – 2024 гг. и 2008 – 2025 гг.. Члены обоих рядов, соответствующие годам, предшествующим 2024, совпадают с членами ряда КЛП для тех же годов. Как их члены для 2024 и 2025 г., использованы их прогнозы, которые вычислены с применением модели, в которую подставлены значения коэффициентов, верифицированных для отрезка ряда КЛП, соответствующего 2006 – 2023 гг.. С использованием этих рядов осуществлена верификация моделей, используемых для определения прогнозов КЛП на 2024 и 2025 год. При вычислении этих прогнозов в указанные модели подставлены значения их предикторов, которыми являются значения среднегодовых потоков КЛ и индекса Solar, опережающие изучаемый процесс на количество лет, определенное при решении первой задачи.

Как следует из изложенного, значения АОО рассматриваемых прогнозов определены по коротким сериям, которые содержат всего 6 и 5 их результатов. Поэтому точность оценок АОО не велика. Главным фактором, ограничивающим возможность ее повышения, является длина временного ряда КЛП, полученного из [3].

Тем не менее, представленные значения АОО изучаемых прогнозов получены без использования каких-либо упрощающих допущений, и потому вполне корректны, вследствие чего их учет заслуживает внимания.

Результаты исследования и их анализ

При решении первой задачи сформированы отрезки временных ряда КЛП, которые имеют длину 18 лет и начинаются в 2000 – 2006 гг. Для каждого из полученных отрезков вычислены значения его ВКФ с рядами КЛ и Solar.

Как пример, на Рис. 2 приведены ВКФ рядов КЛ и Solar с отрезками ряда КЛП, которые соответствуют периодам времени 2000 – 2017 гг., 2003 – 2020 гг. и 2006 – 2023 годов.

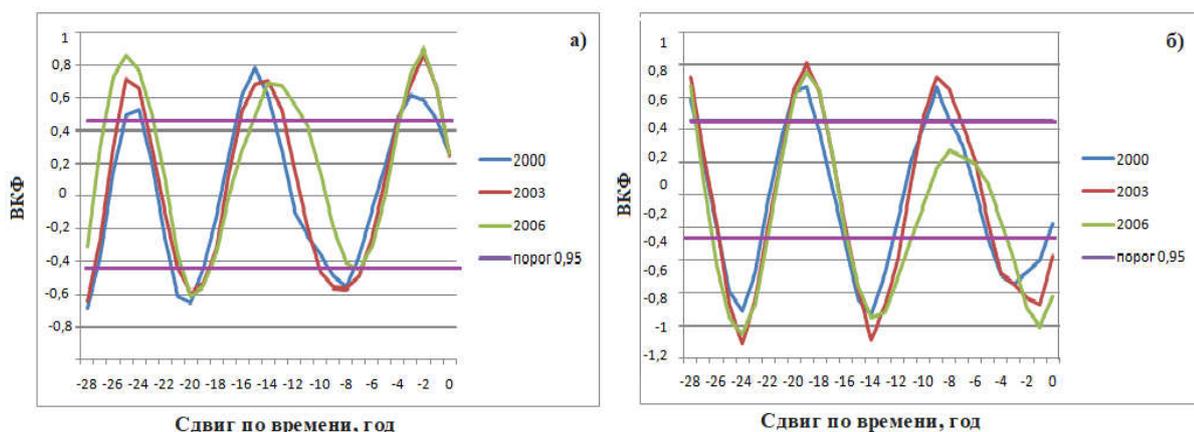


Рис.2. Временные корреляционные функции отрезков ряда «Количество ландшафтных пожаров», соответствующих периодам времени 2000 – 2017 гг., 2003 – 2020 гг. и 2006 – 2023 гг., с рядами: а) КЛ; б) Solar

Как следует из Рис. 2, значения ВКФ рассматриваемого отрезка ряда КЛП и ряда КЛ значимы при многих значениях сдвигов между ними, но тенденция к усилению связи между ними имеет место лишь при сдвигах 0 – 4 гг. и 22 – 26 гг.

ВКФ того же отрезка ряда КЛП и ряда Solar выходят за уровни порога значимости также при многих значениях сдвигов. При этом связи между этими процессами усиливаются лишь при сдвигах 0 – 2 года.

Для прочих отрезков ряда КЛП вид ВКФ подобен графикам, представленным на Рис. 2. Для них рассматриваемые сдвиги относятся к тем же диапазонам их значений.

Примеры зависимостей значений, рассматриваемых ВКФ, от года начала отрезка ряда КЛП, соответствующие некоторым их выявленным значениям сдвигов, представлены на Рис. 3 (где КЛ-2 обозначает сдвиг в прошлое отрезка ряда КЛ по отношению к отрезку ряда КЛП на 2 года).

Как следует из Рис. 3, сдвиги между рядами КЛП и рядами рассматриваемых факторов, при которых связи между ними в период 2000 – 2023 гг. усиливались, существуют. Связи отрезков ряда КЛП с опережающими их по времени отрезками ряда КЛ усиливались при сдвигах между ними 2, 3, 13, 24, 25, 26 лет. При этом при сдвигах 2 – 3 года и 25 – 26 лет для всех рассматриваемых отрезков ряда КЛП рассматриваемые связи являлись значимыми.

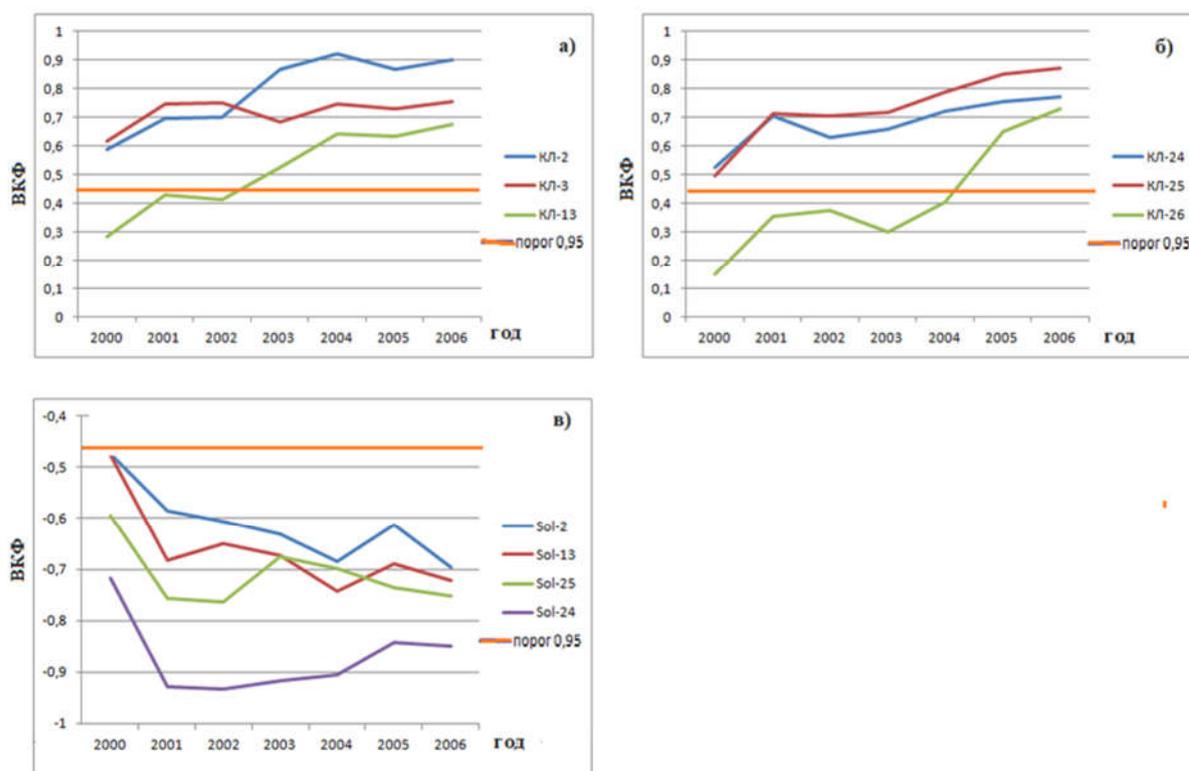


Рис.3. Примеры зависимостей значений ВКФ рассматриваемых отрезков ряда КЛП с рядами изучаемых факторов, превышающих порог значимости, от года начала этих отрезков: а) КЛ б) в) Solar

Для ряда Solar аналогичное имело место при всех выявленных значениях сдвигов по времени.

Столь большие значения временных сдвигов отнюдь не свидетельствуют об ошибочности полученных результатов, поскольку изучаемые процессы являются квазициклическими.

При решении второй задачи значения АОО изучаемых прогнозов определены для случаев, когда их заблаговременность составляла 1 – 2 года. В соответствии с изложенной методикой для установления значения этого показателя использованы прогнозы с заблаговременностью 1 и 2 года, разработанные для всех изучаемых отрезков временного ряда КЛП с учетом выявленных предикторов.

Как пример, на Рис. 4 представлены фактические изменения КЛП на каждом рассматриваемом отрезке времени (ФАКТ), результаты их моделирования (Модель) и разработанные прогнозы (выделены зеленым кружком), заблаговременность которых составляет 1 год. (коэффициенты моделей, которые использованы при моделировании и прогнозировании КЛП для территории РС с заблаговременностью 1 год, представлены в Табл. 1).

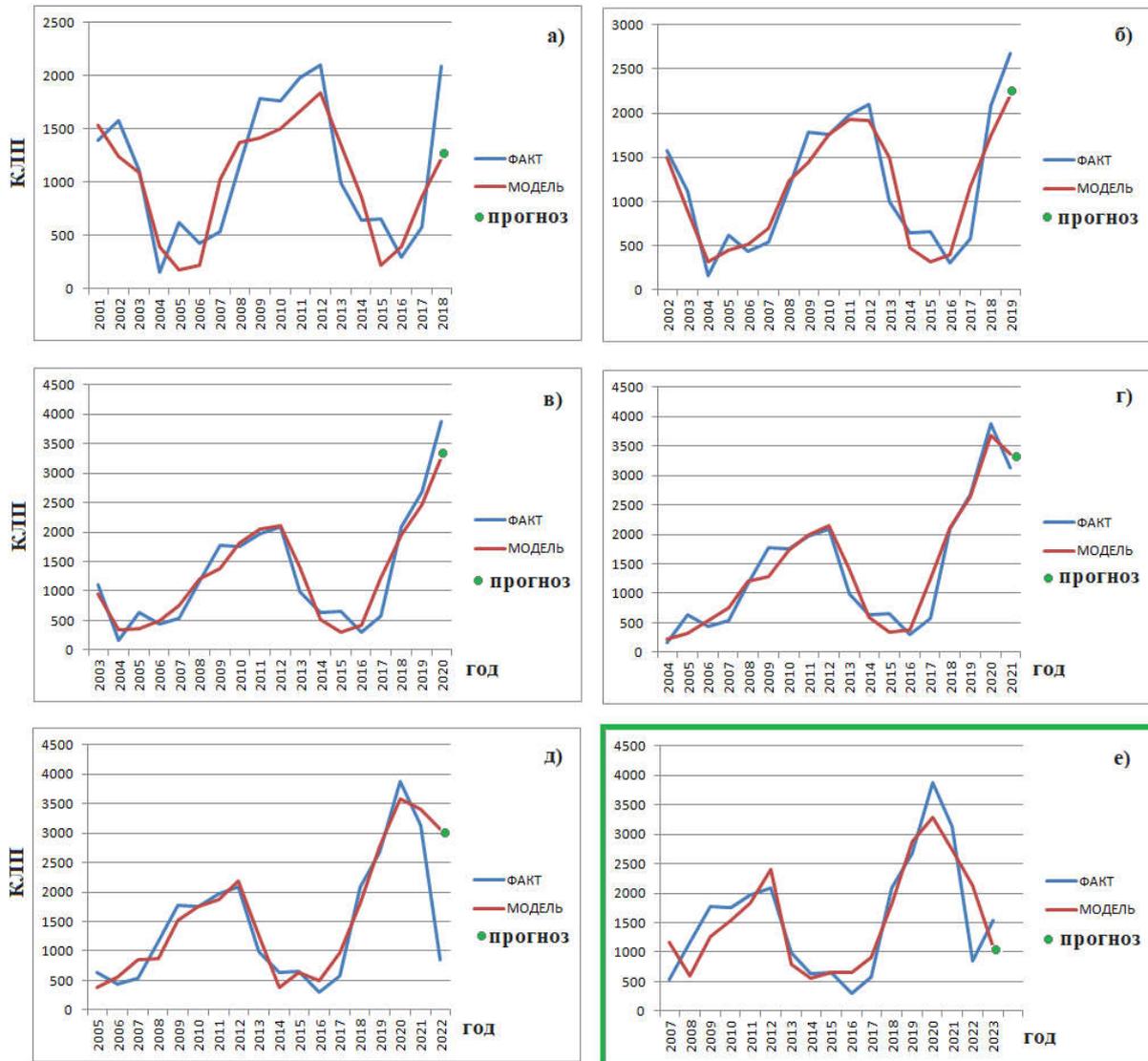


Рис. 4. Фактические изменения КЛП для территории РС (ФАКТ), результаты их моделирования (Модель) и разработанные прогнозы (прогноз), заблаговременность которых составляет 1 год для отрезков времени: а) 2001 – 2018 гг.; б) 2002 – 2019 гг.; в) 2003 – 2020 гг.; г) 2004 – 2021 гг.; д) 2005 – 2022 гг.; е) 2006 – 2023 гг. (несбывшийся прогноз)

Табл. 1. Коэффициенты моделей, примененных для разработки прогнозов КЛП, с заблаговременностью 1 год, соответствующих территории РС для рассматриваемых отрезков времени.

Коэффициент/отрезок	2001 – 2018 гг.	2002 – 2019 гг.	2003 – 2020 гг.	2004 – 2021 гг.	2005 – 2022 гг.	2006 – 2023 гг.
C_0	-6353,6	-7667,9	-9763,4	-11447,9	-9049,3	-9407,8
C_1	-0,91	-0,31	-0,92	-1,5	-0,60	-1,65
C_2	0,29	-0,60	0,09	0,4	-0,24	1,69
C_3	106,64	163,26	157,62	172,7	62,68	-17,38
C_4	-15,89	10,20	48,09	49,3	56,54	128,40
C_5	139,10	17,24	-17,24	-44,6	-168,56	-225,18
C_6	22,15	18,35	66,96	99,6	72,02	151,69
C_7	-16,90	111,80	107,26	147,3	47,79	-106,40
Вклад результатов моделирования в среднюю мощность изменений КЛП, (%)	74	89	91	92	94	90

Как следует из Рис. 4, для всех рассматриваемых отрезков времени результаты моделирования изменений КЛП на территории РС (годы с 1 по 17) удовлетворительно соответствуют их фактическим изменениям. При этом тенденции прогнозируемых изменений КЛП в 5 случаях из 6 также совпали с фактическими тенденциями. Единственный случай, в котором прогноз не оправдался, имел место в период 2006 – 2023 гг. (на рисунке он помещен в зеленую рамку). Следовательно, АОО прогнозов КЛП на предстоящий год, разработанных по изложенной методике, составляет 0,83. Аналогичным образом, установлено, что ААО прогнозов изучаемого процесса с заблаговременностью 2 года составляет 0,8.

Столь высокие значения оправдываемости представленных прогнозов свидетельствует о том, что фактический сценарий, по которому в 2000 – 2023 гг. происходили изменения КЛП, был близок к консервативному. Как видно из табл. 1, вклады результатов моделирования изменений КЛП с учетом выявленных предикторов в среднюю мощность этого процесса лежат в пределах от 0,74 до 0,94 %, что доказывает их значимость.

С использованием тех же результатов прогнозирования КЛП на 2018 – 2023 гг. оценены значения смещения рассматриваемых прогнозов КЛП и их среднеквадратического отклонения от фактических значений рассматриваемых показателей, которые представлены в Табл. 2.

Табл. 2. Оценки смещений прогнозов значений КЛП для территории РС и их среднеквадратических отклонений, соответствующих периоду 2018 – 2023 гг.

Показатель\Заблаговременность	1 год	2 года
Смещение прогноза	421,610	626,817
Среднеквадратическое отклонение	1081,909	1297,63

Как видно из Табл. 2 и Рис. 4, прогнозируемые с заблаговременностью 1 и 2 года значения КЛП являются заниженными по сравнению с фактическими значениями (среднее значение которых за период 2000 – 2023 г. составляет 1339,458). При этом среднеквадратические отклонения прогнозов сопоставимы со средним значением изучаемого показателя.

Приведенные оценки свидетельствуют о том, что в отличие от вполне реалистичных прогнозов тенденций дальнейших изменений КЛП, разработанных с учетом выявленных предикторов, прогнозы их абсолютных значений весьма неточны, а потому практиконеприменимы.

При решении третьей задачи с применением той же методики определены коэффициенты линейной множественно регрессионной модели, необходимые для разработки прогнозов КЛП для территории Республики Саха (Якутия) на 2024 и 2025 гг. Их значения представлены в Табл. 3.

Табл. 3. Коэффициенты модели, обеспечивающие прогнозирование КЛП на 2024 и 2025 год

2024 год				2025 год			
C_0	5299,810	C_4	28,785	C_0	393,065	C_4	50,268
C_1	-97,105	C_5	-54,051	C_1	-84,923	C_5	49,652
C_2	-93,808	C_6	68,770	C_2	-124,002	C_6	33,898
C_3	8,017	C_7	0,328	C_3	39,440	C_7	1,431

С учетом вычисленных коэффициентов, осуществлено моделирование изменений КЛП в периоды 2007 – 2023 гг. и 2008 – 2023 гг. и оценки их значений на 2024 и 2025 год.

Полученные результаты представлены на Рис. 5.

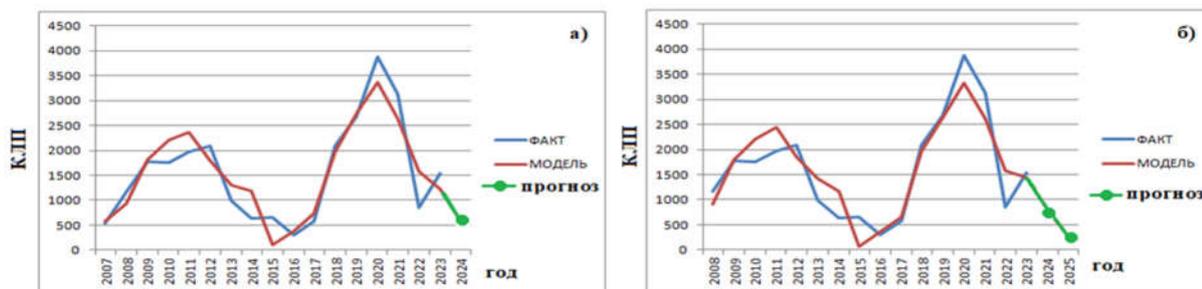


Рис. 5. Фактические изменения КЛП для территории РС (ФАКТ), результаты их моделирования (Модель) и прогнозы для отрезков времени: а) 2007 – 2024 гг.; б) 2008 – 2025 гг.

Из Рис. 5 понятно, что в период до 2023 г. включительно результаты моделирования КЛП с использованием верифицированных моделей качественно соответствуют фактическим изменениям этих показателей. При этом оценка КЛП для 2024 года, полученная с применением соответствующих коэффициентов модели, указанных в Табл. 3, равна 595,726.

Оценки того же показателя для 2024 и 2025 г., полученные с применением соответствующих коэффициентов из Табл. 3, составляют: 786,695 и 279,323.

Рассматриваемые прогнозы получены путем компенсации смещений этих оценок, значения которых приведены в Табл. 2. Как прогноз КЛП на 2024 год, логично принять 1112,829 – среднее значение откорректированных таким образом оценок, полученных с применением моделей, соответствующих заблаговременности 1 и 2 года. Прогноз КЛП на 2025 год составляет 906,14.

Из полученных результатов следует, что если изменения КЛП на территории РС и далее будут происходить по сценарию, близкому к консервативному, то в 2024 году значения этого показателя для территории РС по сравнению с их уровнями для 2022 и 2023 года существенно не изменятся, а в 2025 году вероятно их некоторое снижение.

Учитывая периодичности изменений КЛП на территории РС, имевшие место в 2000 – 2023 гг., можно предположить, что в рассматриваемом случае очередной цикл увеличения КЛП начнется в 2026 году и достигнет максимума в 2027 – 2028 году.

Представленные прогнозы изменений КЛП качественно соответствуют закономерностям этих процессов, выявленным ранее. Поэтому их целесообразно учитывать при принятии управленческих решений по обеспечению пожарной безопасности лесов Республики Саха (Якутия).

Обсуждение полученных результатов

Полученные результаты соответствуют существующим представлениям о причинах изменений горимости лесов [9, 10], а также об особенностях перемен климата РС. Обладающие новизной факты:

– сценарий изменений КЛП на территории РС в период 2000 – 2023 гг. был близок к консервативному, вероятность его сохранения в ближайшие предстоящие годы выше, чем вероятность его радикального изменения;

– Отрезки ряда среднегодовых значений индекса Solar и потоков КЛ, поступающих на земную поверхность, могут являться предикторами модели изменений КЛП на территории РС с вкладами результатов моделирования в среднюю мощность изучаемого процесса от 74% до 94%.

– АОО прогнозов с заблаговременностью 1 – 2 года изменений КЛП на территории РС, разработанные с учетом выявленных предикторов в период 2018 – 2023 гг., составляли 0,83 и 0,8.

– если сценарий дальнейших изменений КЛП на территории РС не переменится, то в 2024 и 2025 годах фаза накопления горючего материала в лесах РС продолжится, а значения КЛП будут близки к их уровням 2022 и 2023 годов.

Выводы

Таким образом, установлено:

1. Прогнозы тенденций изменений количества лесных пожаров с заблаговременностью 1 – 2 года для территории Республики Саха (Якутия) могут быть разработаны с использованием уравнения линейной множественной регрессии в качестве прогностической модели, предикторами которой выступают отрезки предыстории изменений солнечной активности и потоков космических лучей, поступающих на земную поверхность.

2. Значения оправдываемости таких прогнозов в период 2018 – 2023 гг. составляли соответственно 0,83 и 0,8, что может рассматриваться как априорная оценка для 2024 и 2025 гг.

3. Высокие уровни оправдываемости прогнозов свидетельствуют о том, что сценарий изменений изучаемой характеристики в 2000 – 2023 гг. был близок к консервативному, а вероятность его радикального изменения в ближайшем будущем ниже, чем вероятность его неизменности.

4. В 2024 и 2025 гг. количество ландшафтных пожаров на рассматриваемой территории будет соответствовать уровням 2022 и 2023 гг. соответственно.

Поскольку предложенные прогнозы соответствуют наиболее вероятному сценарию, их учет целесообразен при планировании деятельности подразделений соответствующих функциональных подсистем РСЧС.

Список источников

1. Классификация метеорологических прогнозов. // сайт Гидрометцентра РФ. – URL: <https://meteoinfo.ru/forcabout/1597-f> (дата обращения 15.04.2024)

2. Холопцев А. В., Никифорова М. П. Солнечная активность и прогнозы физико-географических процессов. / LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2013. – 333 p. – ISBN:978-3-659-41130-4

3. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства // база данных ИСДМ-Рослесхоз, 2024, Москва, данные в формате excel. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (дата обращения 05.04.2024)

4. Сверлова, Л. И. Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды с учетом поясов атмосферной засушливости и сезонов года. Хабаровск. – 2000. – 46 с.

5. Krainev M.B., Bazilevskaya G.A., Kalinin M.S., Mikhailov V.V., Svirzhevskaya A.K., Svirzhevsky N.S., Luo X., Potgieter M.S. Galactic cosmic ray intensity in periods of the heliospheric magnetic field inversion // Солнечная и Солнечно-земная физика. – 2023. – т. 9. – № 4. – С. 187–191.

6. Исследование Форбуш-эффектов во время мощных солнечных вспышек по данным мюонного годоскопа УРАГАН / А. А. Ковыляева, Н. С. Барбашина, В. Г. Гетманов

[и др.] // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2021. – Т. 85, № 4. – С. 605-608. – DOI 10.31857/S0367676521030145. – EDN BXANQQ.

7. База данных об изменениях глобальных климатических индексов // NOAA/PSL, 2024, формат данных html. URL: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/solar.data> (дата обращения 10.04.2024)

8. Долгопрудненская научная станция имени С.Н. Вернова. Лаборатория физики Солнца и космических лучей. Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН // сайт. – URL: https://sites.lebedev.ru/DNS_FIAN (дата обращения 05.04.2024)

9. Петрунин, Н. А. Индикативный анализ горимости лесов в России / Н. А. Петрунин // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2022. – № 4. – С. 115-137. – DOI 10.21178/2079-6080.2022.4.115. – EDN VXCDHC.

10. Иванова Г. А., Иванов В. А., Мусохранова А. В., Онучин А. А. Лесные пожары и причины их возникновения на территории Средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2023. № 6. С. 6–16. DOI: 10.15372/SJFS20230602

References

1. Classification of meteorological forecasts. // website of the Hydrometeorological Center of the Russian Federation. - URL: <https://meteoinfo.ru/forcabout/1597-f> (date of circulation 15.04.2024)

2. Kholoptsev A. V. V., Nikiforova M. P. Solar activity and forecasts of physiographic processes. / LAP LAMBERT Academic Publishing. - 2013. - 333 p. - ISBN:978-3-659-41130-4

3. Information system of remote monitoring of the Federal Forestry Agency // ISDM-Rosleskhoz database, 2024, Moscow, data in excel format. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (date of circulation 05.04.2024)

4. Sverlova, L. I. Method of assessment of fire danger in forests by weather conditions taking into account atmospheric aridity belts and seasons of the year. Khabarovsk. - 2000. - 46 с.

5. Krainev M.B., Bazilevskaya G.A., Kalinin M.S., Mikhailov V.V., Svirzhevskaya A.K., Svirzhevsky N.S., Luo X., Potgieter M.S. Galactic cosmic ray intensity in periods of the heliospheric magnetic field inversion // Solar and Solar-Terrestrial Physics. – 2023. - т. 9. - № 4. - С. 187-191.

6. Investigation of Forbush effects during powerful solar flares using data from the muon hodoscope URAGAN / A. A. Kovyliaeva, N. S. Barbashina, V. G. Getmanov [et al.] // Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Series physical. - 2021. - Т. 85, № 4. - С. 605-608. - DOI 10.31857/S0367676521030145. - EDN BXANQQ.

7. Global Climate Indexes Change Database // NOAA/PSL, 2024, html data format. URL: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/solar.data> (accessed on 10.04.2024).

8. S.N. Vernov Dolgoprudnya Research Station. Laboratory of physics of the Sun and cosmic rays. P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences // website.- URL: https://sites.lebedev.ru/DNS_FIAN (date of reference 05.04.2024)

9. Petrunin, N. A. Indicative analysis of forest burning in Russia / N. A. Petrunin // Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry. - 2022. - № 4. - С. 115-137. - DOI 10.21178/2079-6080.2022.4.115. - EDN VXCDHC.

10. Ivanova G. A., Ivanov V. A., Musokhranova A. V., Onuchin A. A Forest fires and causes of their occurrence on the territory of Central Siberia // Siberian Forestry Journal. 2023. № 6. С. 6-16. DOI: 10.15372/SJFS20230602

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.07.2024, одобрена после рецензирования 22.08.2024, принята к публикации 02.09.2024.

The article was submitted 30.07.2024, approved after reviewing 22.08.2024, accepted for publication 02.09.2024.

Научная статья
УДК 614.849
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.97.82.007

Разработка критериев и алгоритма проведения оценки управления планирования занятий по разбору пожаров

Павел Олегович Михайлин^{1,2}

¹Главное управление пожарной охраны МЧС России, Москва, Россия

²МГУТУ им. К.Г. Разумовского, Москва, Россия

Автор ответственный за переписку: Павел Олегович Михайлин, mp9645606813@ya.ru

Аннотация: подготовка профессиональных пожарных является неотъемлемой частью деятельности пожарной охраны. В данной статье проведен анализ сведений, представленных территориальными органами МЧС России по субъектам Российской Федерации в части, касающейся произошедших пожаров на разных категориях объектов. Выдвинута гипотеза, что количество исследуемых пожаров лицами, принимающими решение на пожаре, оказывает влияние на параметрические показатели пожара ($S_{\text{пож}}$). По мимо гипотезы предложены критерии оценки оптимального количества проведенных занятий по разбору пожара и исследуемых пожаров в подразделениях пожарной охраны, а также предложен алгоритм определения количества исследуемых пожаров из большого массива данных, основанный на одной из математических теорий, позволяющий определить достаточность управленческого воздействия на процесс планирования занятий по профессиональной подготовке должностных подразделений пожарной охраны в пожарно-спасательном гарнизоне.

Ключевые слова: разбор пожара, оперативные показатели, подготовка пожарных, пожар, тушение пожаров, планирование

Для цитирования: Михайлин П.О. Разработка критериев и алгоритма проведения оценки управления планирования занятий по разбору пожаров // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С.100-106. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.97.82.007>.

Original article

DEVELOPMENT OF CRITERIA AND AN ALGORITHM FOR ASSESSING THE FIRE MANAGEMENT PLANNING DEPARTMENT

Pavel O. Mikhailin^{1,2}

¹Fire department of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

²Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (PKU), Moscow, Russia

Corresponding author: Pavel O. Mikhailin, mp9645606813@ya.ru

Abstract: training of professional firefighters is an integral part of the activities of the fire department. This article analyzes the information provided by the territorial bodies of the Ministry of Emergency Situations of Russia for the constituent entities of the Russian Federation in terms of fires that occurred at different categories of objects. It is hypothesized that the number of fires studied by fire decision makers influences the fire parametric indicators (S_{fire}). In addition to the hypothesis,

criteria for assessing the optimal number of fire analysis classes and fires under study in fire departments are proposed, and an algorithm is proposed for determining the number of fires under study from a large array of data, based on one of the mathematical theories, allowing to determine the sufficiency of management influence on the lesson planning process on professional training of fire departments in the fire and rescue garrison.

Key words: fire analysis, operational indicators, firefighter training, fire, fire extinguishing, planning

For citation: Mikhailin P.O. Development of criteria and an algorithm for assessing the fire management planning department // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 3 (34). С. 100-106. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.97.82.007>.

Деятельность по управлению в пожарной охране основана на общих принципах теории управления, в которой одной из основных задач является обучение и повышение квалификации личного состава [1].

За истекшие 3 года на территории Российской Федерации произошло 1058 345 пожаров из них 1906 пожаров, классифицируемых как «крупный пожар». Перечень категорий объектов, на которых произошли пожары и их показатели приведены в Табл.1.

Табл.1. Сведения об объектах пожара за 3 года

Объект пожара/год	2021	2022	2023
Места открытого хранения веществ, материалов, сельскохозяйственные угодья и другие открытые территории	173544	153306	158370
Здания жилого назначения и надворные постройки	108343	103050	100099
Транспортные средства	15678	15036	14436
Здания производственного назначения	2604	2151	4355
Объекты торговли	2682	2704	3031
Объекты хранения транспортных средств	3733	3783	2436
Объекты промышленного назначения	1678	1594	843
Складские здания и сооружения	1132	1169	1979
Объекты сервисного обслуживания населения	903	775	708
Строящиеся или реконструируемые объекты	1046	1074	1204
Административные здания	851	1111	1203
Объекты сельскохозяйственного назначения	717	697	382
Здания, помещения учебно–воспитательного назначения	334	287	283
Объекты для культурно–досуговой деятельности населения и религиозных обрядов	223	242	268
Здания и помещения для временного пребывания (проживания) людей	720	707	637
Объекты здравоохранения и социального обслуживания населения	302	311	242
Другие объекты пожара	70544	60090	34748
ИТОГО	385034	348087	325224

Из Табл.1 видно, что в сравниваемый периоды показатель «количество пожаров» является динамическим и ежегодно снижается в диапазоне от 2% до 10 % [2]. При этом показатель «крупные пожары» варьируется как в положительную, так и отрицательную стороны: 2021 год – 623 крупных пожара, 2022 год – 654 крупный пожар, 2023 год – 629 крупных пожара.

Совершенствование системы управления ресурсами пожарной охраны привлекаемых к тушению пожаров должно опираться на анализируемые оперативные и статистических данные, а также информации, полученной в ходе занятий с лицами, принимающими решения на пожарах (РТП) и обладающих опытом в тушении пожаров на различных объектах.

Общая площадь произошедших пожаров в 2023 году составила 6428091913 м² (АППГ – 3128404326 м²), что говорит об увеличении данного показателя в 2 раза. Принимая во внимание такой скачек показателя площади пожаров, можно предположить, что происходят изменения в планировании боевых действий по тушению пожаров, а также об изменениях в самой динамике развития пожаров, выраженной в увеличении их параметрических показателей.

Площадь крупных пожаров в 2023 году составила 93468867 м² (АППГ – 14236360 м²). Стоит отметить, что, не смотря на снижение количества крупных пожаров их площадь, выросла примерно в 6,5 раз, в сравнении с 2022 годом. Такой показатель может свидетельствовать о нескольких основных причинах:

- несвоевременное единовременное привлечение необходимого количества ресурсов пожарной охраны;
- длительный период времени, в течении которого не обеспечивается одно из ключевых условий для достижения локализации ($Q_{тр} \leq Q_{факт}$) [8];
- отсутствие возможности единовременного проведения полноценной разведки пожара как снаружи объекта пожара, так и внутри его на возможных путях распространения;
- нехватка опыта при управлении ресурсами пожарной охраны на крупных пожарах;
- отсутствие активных действий по тушению пожаров на путях его распространения.

Благоприятный исход любого потушенного пожара заключается в правильности выбора управленческого решения и воздействия на привлеченные ресурсы пожарной охраны в первые 15-20 минут от момента прибытия к месту вызова РТП. Использование на пожарах планов тушения пожаров в качестве опорного плана принятия решений (ОП) подразумевает обеспечение РТП необходимой информацией об объекте пожара для принятия правильного и своевременного оптимального управленческого решения из ряда возможных альтернатив. Однако на практике все обстоит иначе. В работе авторов [2] проведен эксперимент (в форме опроса) в ходе которого установлено, что РТП использует ОП только на 54% от его содержания. Это обусловлено не качественной информацией, представленной сотрудниками объекта, на который разработан ОП, низким качеством составления ОП, невнимательностью РТП (не взял при выезде подразделения). При этом сам ОП используются на пожарах лишь в 18% случаях пожаров, на объектах предусматривающих разработку ОП. На основании проведенного эксперимента одним из сделанных выводов, является, то, что принятие срочных решений РТП может осуществляться с учетом опыт тушения предыдущих пожаров [3].

В целях совершенствования своих знаний для реализации задач управления [3], для должностных лиц, выступающих в роли РТП, в системе профессиональной подготовки проводятся занятия по «разбору пожара» (РП). На данных занятиях личный состав пожарной охраны изучает особенности, возникшие в ходе тушения пожара, а также разбирают ошибки и вырабатывают возможные альтернативы по выбору управленческого решения, рациональные варианты эффективного управления ресурсами пожарной охраны.

В работе [2] были рассмотрены должностные категории пожарной охраны, наиболее часто выступающие в роли РТП. В 2023 году обязанности РТП осуществляли должностные категории, представленные в Табл.2 [5].

Табл.2. Руководство тушением пожаров за 12 месяцев 2023 года

№	Должность	РТП-1	Доля, %	РТП старший	Доля, %
1.	Командир отделения	61598	16,4	49300	13,1
2.	Помощник нач. караула	24635	6,5	19945	5,3
3.	Начальник караула	224486	59,8	193511	51,5
4.	Начальник (заместитель) ПСЧ	10543	2,8	31258	8,3
5.	Начальник (заместитель) отряда	407	0,1	2063	0,5
6.	Служба пожаротушения	1231	0,3	9655	2,5
7.	Руководство органов управления	1394	0,3	2116	0,5
8.	Сотрудники ГПН	221	0,0	1249	0,3
9.	Добровольная пожарная охрана	9211	2,4	3305	0,8
10.	Муниципальная пожарная охрана	6567	1,7	3045	0,8
11.	Частная пожарная охрана	539	0,1	282	0,0
12.	Ведомственная пожарная охрана	728	0,1	381	0,1
13.	Прочие должностные лица	20566	5,4	19171	5,1
14.	РТП отсутствует	13116	3,4	22607	6,0

Из представленных сведений в Табл.1 наглядно видно, что наиболее частными РТП по должности являются: командиры отделений (КО), помощник начальника караула (ПНК), начальники караула (НК), начальник (заместитель) пожарно-спасательной части (Н(З)ПСЧ). При этом перечисленные должностные лица являлись старшими РТП на месте вызова, на протяжении всего тушения пожара, относительно общего количества произошедших пожаров в 2023 году: КО – 13,1%, ПНК – 5,3%, НК – 51,5%, Н(З)ПСЧ – 8,3% (должностные лица). Такие сведения говорят о том, что от квалифицированных действий указанных должностных лиц зависит исход тушения пожара. Принимая во внимание показатели роста площадей пожаров как обычных, так и крупных можно констатировать, что именно с этими должностными категориями необходимо проводить занятия, направленные на совершенствование их профессиональных навыков. Одной из наиболее эффективной форм обучения в реагирующих подразделениях является проведение занятий по РП [2].

Основной целью занятий по РП является повышение уровня подготовки РТП. В настоящее время критерий оценки достаточности проведенных занятий по РП отсутствует. В связи с этим возникает необходимость в определении соответствующего критерия и выбора механизма (алгоритма) позволяющего оценить его.

В нормативных правовых актах приводится [6] требование, согласно которому ежемесячно необходимо проводить занятия по РП с РТП. Из это следует, что с каждым РТП в течении учебного года должно быть проведено не менее 10 занятий ($R_{тр}$), при этом условно будем понимать, что на 1 занятие спланирован 1 разбор пожара. В целях количественной оценки проведения занятий по РП можно предложить неравенство (1) описывающее приемлемое количество проведенных занятий по РП с должностными лицами, выступающими в роли РТП.

$$R_{i\text{ тр}} \leq R_{i\text{ факт}} \quad (1)$$

$R_{тр}$ – требуемое количество РП с i -ым должностным лицом;

$R_{факт}$ – фактическое количество проведенных РП с i -ым должностным лицом.

Из неравенства (1) следует, что приемлемым количеством занятий по РП можно считать любое значение натурального числа, последовательность которого начинается с 10.

Принимая во внимание то, что нас интересует не само количество занятий, а количество исследуемых на них пожаров с каждым должностным лицом, можно вывести

следующее неравенство, в котором количество фактически исследуемых пожаров будет равно или больше количества требуемых к исследованию пожаров.

Написанное выше описывается неравенством (2).

$$X_{i \text{ факт}} \geq X_{i \text{ тр}} \quad (2)$$

$X_{i \text{ факт}}$ – фактическое количество исследуемых описаний пожаров с i -ым должностным лицом;

$X_{i \text{ тр}}$ – требуемое количество исследуемых описаний пожаров с i -ым должностным лицом.

Для оценки достаточности исследуемых пожаров в рамках проведенных занятий по РП и исходя из предположения, соответствия 1 РП с 1 исследованием пожара, необходимо определить какое же фактическое количество исследованных пожаров было осуществлено на занятиях по РП с каждой должностной категорией, выступающей в роли РТП. Как правило, в подразделениях пожарной охраны итоги по профессиональной подготовке и, следовательно, оценка качества ее проведения осуществляется уже в новом учебном году, что позволяет собрать необходимые аналитические данные.

Действенным механизмом для оценки достаточности занятий по РП могут являться математические элементы, изложенные в теории вероятностей (теория). Представим некоторое событие A заключающееся в том, что наибольшее количество должностных лиц, принявших участие в занятиях по РП относится к i -ой должностной категории. Для этого необходимо определить вероятность наступления события A ($P(A)$) для каждой i -ой должностной категории [7].

$$P(A_i) = \frac{m_i}{n_i} \quad (3)$$

m_i – число занятий по РП с i -ой должностной категории;

n_i – общее число занятий по РП.

При этом в формуле (3) полученное значение никогда не может быть больше 1, так как в теории, значение искомых вероятностей всегда находится в диапазоне от 0 до 1, где 0 – недостоверное событие (то есть данное событие невозможно), а 1 – достоверное событие (событие возможно). Чем больше $P(A)$, тем больше вероятность того, что наступление события A является более вероятным.

После определения группы должностных лиц, с которыми наиболее часто проводились занятия по РП, необходимо определить, какое же количество разобранных пожаров приходится на каждое должностное лицо. При этом стоит учитывать фактическую списочную численность должностных лиц и то, что при пропуске занятия, пропустившее его должностное лицо должно получить индивидуальное задание и восполнить пропуск [6].

Проведение занятий по РП можно отнести к циклическим (повторяющимися) и независимым друг от друга занятиям [7]. Для решения задачи определения количества разобранных пожаров с каждым должностным лицом подходит теорема о повторении опытов. В данной теореме рассматривают 2 случая: частный и общий. В данном конкретном случае подходит частная теорема о повторении опытов [7].

Для определения количества разобранных пожаров необходимо использовать формулу (4).

$$P_{m,n} = C_n^m p^m q^{n-m} \quad (4)$$

Формула (4) описывает, как распределяются вероятности между возможными значениями случайной величины – числа появления событий A при n опытах.

При этом значение C_n^m является формулой Бернулли имеющей вид формулы (5).

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} \quad (5)$$

Таким образом, учитывая вышеизложенное, определен механизм определения количества фактических проводимых занятий по РП с должностными лицами, а также предложены критерии оценки их достаточности. Однако, это в полной мере не дает объективных доказательств предложенной нами гипотезы. Для доказательства выдвинутой гипотезы необходимо провести ряд исследований в отношении конкретной категории объектов по предложенному в данной статье механизму. Вместе с этим, полученные результаты позволят построить функциональную систему управления занятиями по РП и определить ее принцип. Результаты исследований будут представлены в серии последующих публикаций.

Список источников

1. Коваленко Д.В. Методы планирования и управления деятельностью подразделений пожарной охраны на современном этапе / Коваленко Д.В., Ошкин С.Ю. // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2016. – № 1-1(7). – С. 230-232. – EDN WDHLNN.
2. Михайлин П.О. Разбор пожаров в подразделениях пожарной охраны / Михайлин П.О. // Пожарная безопасность. – 2022. – № 4(109). – С. 63-72. – DOI 10.37657/vniipo.pb.2022.109.4.007. – EDN HKLXCW.
3. Денисов А.Н. Принятие управленческого решения при тушении пожара на основе опорного плана / Денисов А.Н., Захаревская С.Н., Нгуен Минь Хьонг // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 4(62). – С. 255-258. – EDN VTPNQP.
4. Денисов А.Н., Данилов М.М., Гундар С.В. Управление силами и средствами при тушении пожаров: учебное пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. – 149 с.
5. Злобнова Е.Е., Рожков Е.П., Пивоваров Н.Ю. Анализ данных об оперативном реагировании и действиях пожарных подразделений при тушении крупных пожаров // ВО ФГБУ ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха – 2024. – С. – 170.
6. Приказ МЧС России от 26.10.2017 № 472 «Об утверждении Порядка подготовки личного состава пожарной охраны» // справочно-правовая система «КонсультантПлюс»: сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_290852/ (дата обращения 25.08.2024).
7. Венцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов / Венуель Е.С. – 10-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2006. – 575 с.: ISBN 5-06-005688-0.
8. Приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» // справочно-правовая система «КонсультантПлюс»: сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_291493/ (дата обращения 25.08.2024).
9. Методические рекомендации по изучению пожаров, утвержденные Главным военным экспертом МЧС России П.В. Платом (2013) – С. – 21.
10. Трофимова Е.А. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие / Трофимова Е.А., Кисляк Н.В., Гилёв Д.В.; под общей редакцией Трофимовой Е.А.; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. — Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2018. – 160 с. — ISBN 978-5-7996-2317-3.

References

1. Kovalenko D.V. Methods of planning and managing the activities of fire departments at the present stage / Kovalenko D.V., Oshkin S.Yu. // Modern technologies for providing civil defense and eliminating the consequences of emergency situations. – 2016. – №. 1-1(7). – pp. 230-232. – EDN WDHLNN.
2. Mikhailin P.O. Analysis of fires in fire departments / Mikhailin P.O. // Fire safety. – 2022. – №. 4(109). – pp. 63-72. – DOI 10.37657/vniipo.pb.2022.109.4.007. – EDN HKLXCW.
3. Denisov A.N. Making management decisions when extinguishing a fire based on a reference plan / Denisov A.N., Zakharevskaya S.N., Nguyen Minh Huong // Technosphere Safety Technologies. – 2015. – №. 4(62). – pp. 255-258. – EDN VTPNQP.
4. Denisov A.N., Danilov M.M., Gundar S.V. Management of forces and means when extinguishing fires: a training manual. – М.: GPS Academy EMERCOM of Russia, 2020. – 149 p.

5. Zlobnova E.E., Rozhkov E.P., Breweries N.Yu. "Analysis of data on the operational response and actions of fire departments when extinguishing large fires" / VO FSBI VNIPO Ministry of Emergency Situations of Russia, Balashikha – 2024. – P. – 170.

6. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated 26.10.2017 No. 472 "On approval of the Procedure for training fire protection personnel" // reference and legal system "ConsultantPlus": website. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_290852/ (date of access 25.08.2024).

7. Wenzel E.S., Theory of Probability: Textbook. for universities/ Venuel E.S. – 10th ed., revised. – M.: Higher. school, 2006. – 575 pp.: ISBN 5-06-005688-0.

8. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated 16.10.2017 №. 444 "On approval of the Combat Regulations of the fire protection units, determining the procedure for organizing fire extinguishing and conducting emergency rescue operations" // reference and legal system "ConsultantPlus": website. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_291493/ (date of access 25.08.2024).

9. Methodological recommendations for the study of fires, approved by the Chief Military Expert of the Ministry of Emergency Situations of Russia P.V. Platom (2013) – S. – 21.

10. Trofimova E.A. Probability theory and mathematical statistics: textbook /. Trofimova E.A, Kislyak N.V., Gilev D.V. under the general editorship of Trofimova E.A. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Ural Federal University named after the first President of Russia Yeltsin B.N. - Ekaterinburg: Ural University Publishing House, 2018. - 160 p. — ISBN 978-5-7996-2317-3.

Вклад авторов: авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.07.2024, одобрена после рецензирования 21.08.2024, принята к публикации 31.08.2024.

The article was submitted 28.07.2024, approved after reviewing 21.08.2024, accepted for publication 31.08.2024.

Научная статья
УДК 614.8, 656, 517.977.5
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.15.80.008

Устойчивость структуры городской дорожной сети к явлениям чрезвычайного характера

*Сергей Валерьевич Бабёнышев*¹
*Евгений Николаевич Матеров*²
*Олег Сергеевич Малютин*³

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Железногорск, Россия

¹<https://orcid.org/0000-0002-4298-2036>

²<https://orcid.org/0000-0002-3916-0613>

³<https://orcid.org/0000-0001-5543-1324>

Автор ответственный за переписку: Евгений Николаевич Матеров, materov@gmail.com

Аннотация. В статье анализируются методы определения оценки уязвимых особенностей городской структуры по отношению к явлениям чрезвычайного характера. 1. Используя сетевую топологию городской структуры транспортной сети, вводится функция достижимости, на основе которой даются методы оценки достижимости зданий и сооружений из пожарных подразделений. 2. На основе понятия центральности графа дорожной сети предложена оценка наиболее уязвимым элементам дорожной сети с точки зрения влияния сбоев (например, землетрясений, наводнений, террористических атак) этих элементов на дорожную сеть. При прочих равных условия, сети с более высокой связностью, меньшим количеством узлов и меньшей степенью центральности менее уязвимы к последствиям разрушения. 3. Учитывая цифровую модель рельефа местности, дается аналитическая оценка городской инфраструктуры, наиболее уязвимой для паводков. Используя информацию, касающуюся цифровой модели рельефа местности и расстояния от береговой линии до объектов, можно построить модель для кластеризации при районировании рисков затопления на основе алгоритмов машинного обучения. В работе проанализировано несколько крупных городов Российской Федерации.

Ключевые слова: моделирование, граф дорожной сети, чрезвычайные ситуации, цифровая модель

Для цитирования: Бабёнышев С.В., Матеров Е.Н., Малютин О.С. Устойчивость структуры городской дорожной сети к явлениям чрезвычайного характера // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 107-118. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.15.80.008>.

THE STABILITY OF THE STRUCTURE OF THE URBAN ROAD NETWORK TO EMERGENCY PHENOMENA

*Sergey V. Babenyshev*¹
*Evgeny N. Materov*²
*Oleg S. Malyutin*³

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia,

¹<https://orcid.org/0000-0002-4298-2036>

²<https://orcid.org/0000-0002-3916-0613>

³<https://orcid.org/0000-0001-5543-1324>

Corresponding author: Evgeny N. Materov, materov@gmail.com

Abstract. The article analyses the methods of determining the assessment of vulnerable features of the urban structure in relation to the phenomena of emergency character. 1. Using the network topology of the urban structure of the transport network, we define a reachability function is introduced, on the basis of which methods of estimating the reachability of buildings and structures from fire departments. 2. Based on the concept of centrality of the road network graph, an assessment of the most vulnerable elements of the road network, we propose in terms of the impact of failures (e.g., earthquakes, floods, terrorist attacks) of these elements on the road network. Other things being equal, networks with higher connectivity, fewer nodes and lower centrality are less vulnerable to the effects of disruption. 3. Given a digital elevation model, we provide an analytical assessment of the urban infrastructure most vulnerable to floods. Using the information concerning the digital elevation model and the distance from the shoreline to the objects, we built a model for clustering in flood risk zoning based on machine learning algorithms. We analyze s in this paper several large cities of the Russian Federation.

Keywords: modeling, graph of the street network, emergencies, digital model

For citation: Babenyshev S.V., Materov E.N., Malyutin O.S. The stability of the structure of the urban road network to emergency phenomena // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 3 (34). С. 107-118. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.15.80.008>.

Оценка достижимости зданий и сооружений из пожарных подразделений

Согласно действующему в Российской Федерации законодательству [1], места дислокации подразделений пожарной охраны на территориях поселений и городских округов определяются условием, что время прибытия первого подразделения к месту вызова не должно превышать 10 минут, соответственно, в сельской местности — 20 минут. Одними из важнейших задач являются, уменьшение времени прибытия первого подразделения, оптимизация границ районов выезда и оптимальное размещение новых пожарных подразделений с учетом максимального покрытия территории муниципалитета 10-минутными (соответственно, 20-минутными) изохронами. Такого рода вопросы, связанные с достижимостью объектов для экстренных служб, очень активно изучались как в Российской Федерации [5], так и за рубежом [6–8]. В частности, авторы данной статьи также внесли свой вклад в решение рассматриваемых задач, что отражено в публикациях [9,10].

Мы рассматриваем структуру дорожной сети как *пространственный граф* — математический объект, состоящий из узлов и ребер, учитывающий географические координаты и географические проекции. Отметим, что в данном случае мы рассматриваем взвешенный ориентированный граф, в котором узлами графа, как правило, являются пересечения дорог или перекрестки, а проезжая часть является ребрами графа, причем скорость либо время следования по определенному участку определяет вес соответствующего ребра графа.

Этапы работы с пространственным графом следующие:

1. для данного населенного пункта необходимо получить его границы и дорожную сеть с помощью API на основе открытого картографического сервиса *OpenStreetMap*;
2. дорожная сеть преобразуется в новый объект, являющийся графом с учетом географических проекций;
3. каждому участку (по сути, ребру графа) с одним и тем же типом дорог приписывается вес как скорость движения на данном участке;
4. рассчитывается граница 10-минутной (20-минутной) достижимости из одного или нескольких центров (в нашем случае центрами являются пожарные подразделения).

Развитие современных ГИС-технологий дало новые возможности для технической работы с геопространственными данными. Для программного исследования структуры свойств пространственного графа дорожной сети можно использовать как настольные ГИС (например, QGIS, ArcGIS), так и языки программирования, например, Julia, Python или R. В частности,

в статье авторов [10] для задач оптимизации границ районов выезда использовался язык программирования Python, для расчетов (нахождения кратчайших маршрутов, построения дерева маршрутов из заданного узла и т.д.) использовались библиотеки OSMnx и NetworkX. В данной статье для обработки, визуализации и моделирования мы используем свободно распространяемый язык программирования R. Язык R [11] изначально задумывался его авторами как статистический язык программирования, но сейчас, благодаря наличию огромного количества библиотек, расширяющих базовые возможности языка, он используется для самых разных задач, и хорошо зарекомендовал себя в применении к географическим данным: см., например, [12] или [13]. В частности, R предлагает множество библиотек для пространственного сетевого анализа.

Исходными данными для моделирования, помимо местоположения городского либо сельского поселения, а также топологии графа дорожной сети, являются координаты пожарных частей и скорости движения по различным типам дорог, которые можно варьировать. Отметим, что от скоростей движения по различным типам существенно зависит так называемый *индекс прикрытия территории*, введенный в работе [10] как процентное соотношение количества узлов графа дорожной сети, для которых время прибытия не превышает допустимое время (например, 10 минут) к общему количеству узлов графа дорожной сети для рассматриваемого района.

Для того, чтобы можно было определить транспортную устойчивость графа дорожной сети, мы введем такой важный показатель, как *функция достижимости* $F(t)$ (Рис.1), которая в точке t_0 показывает долю (количество) узлов графа (например, в процентном соотношении), достижимых за время $t < t_0$. С помощью данной функции можно определить количество узлов графа, которые будут достигнуты за время t из диапазона $a < t < b$ как разницу $F(b) - F(a)$. Функция $F(t)$ по своим свойствам похожа на функцию вероятности, в частности, она является неубывающей и ее значения сосредоточены на интервале $(0, 1)$ (либо от 0% до 100%).

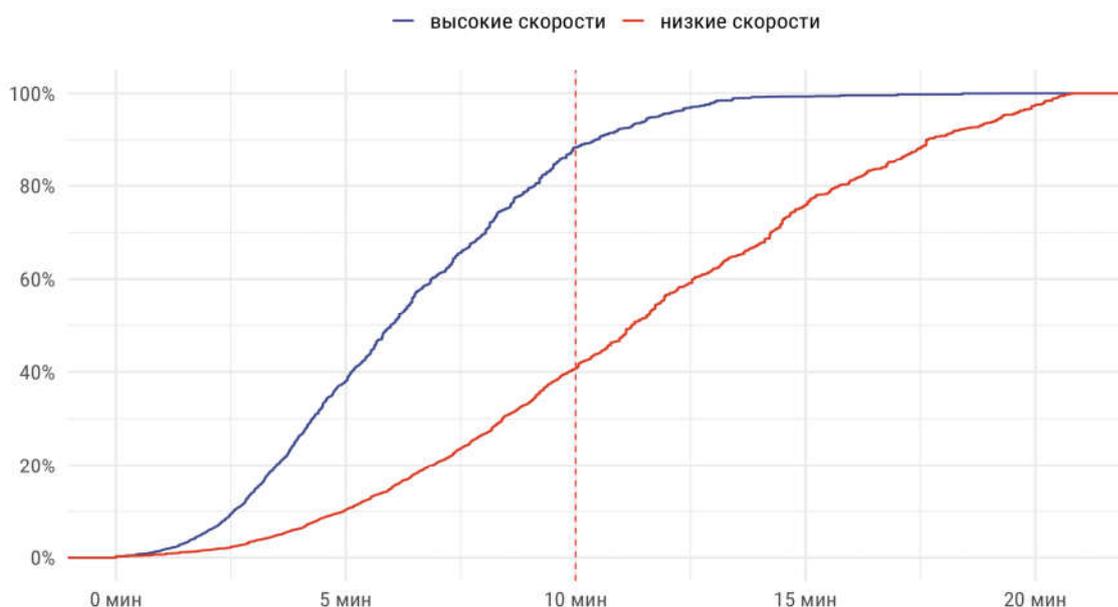


Рис.1. Пример функции достижимости для одного и того же города для различных наборов скоростей движения; разница в процентном соотношении объектов, достижимых за 10-минут для высоких и низких скоростей, составляет около 50%.

Теперь, выбрав одинаковый набор скоростей движения по различным типам дорог, мы можем сравнить несколько городов по уровню достижимости, причем, используя функцию достижимости, сравнение возможно для любого фиксированного заданного времени достижимости. Также, подобные графики дают хорошее представление о том, как быстро

происходит «насыщение», т.е. как быстро выполняется тот или иной уровень достижимости для фиксированного времени (Рис.2).

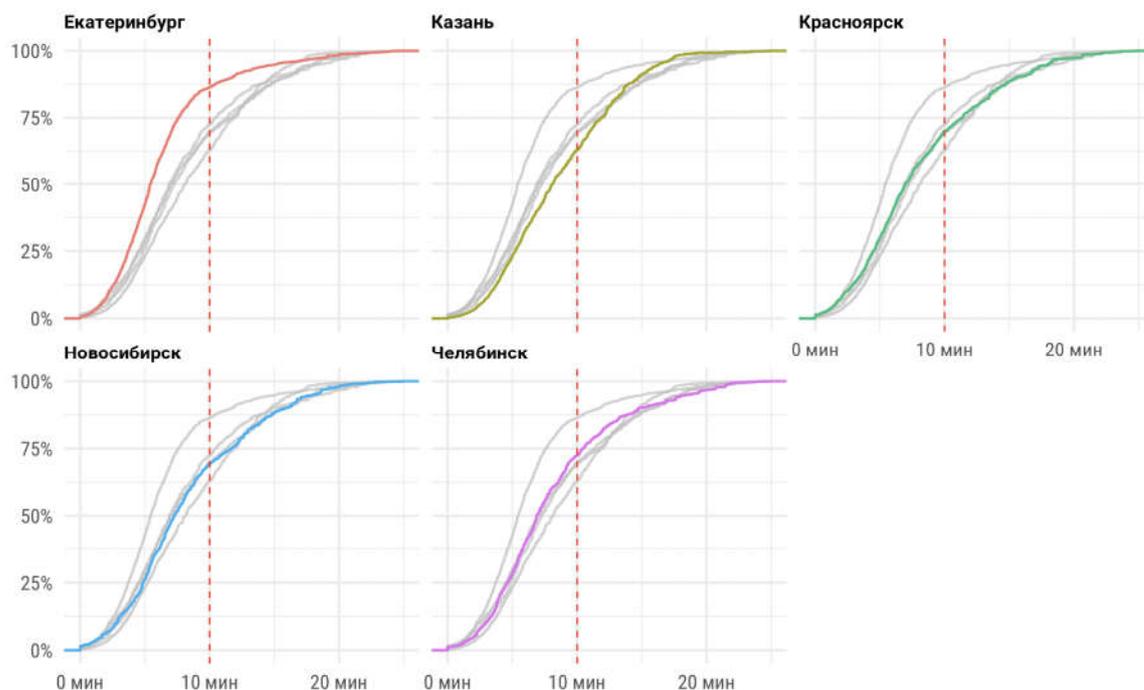


Рис.2. Пример функции достижимости для нескольких городов и одного и того же набора скоростей движения.

Рис.2 показывает, что наиболее устойчивым из 5 выбранных городов России является Екатеринбург, на что указывает рост графика, следовательно, при выбранном наборе средних скоростей (см. [10]) за 10 минут лучший индекс покрытия будет именно у Екатеринбурга.

Оценка уязвимости городской дорожной сети на основе понятия центральности графа дорожной сети

Дорожные сети определяют важные транспортные потоки в муниципальных образованиях. Нарушения в этой важнейшей инфраструктуре могут прерывать транспортные потоки и наносить масштабный ущерб. Например, проливные дожди или повышение уровня моря могут затопить улицы, сделав многие поездки невозможными. Землетрясения могут разрушить важные дорожные магистрали или завалить их обломками, затрудняя эвакуацию и спасение людей. Террористы могут напасть на такие узловые точки, как мосты, туннели или важные перекрестки, чтобы парализовать часть города. Такие нарушения могут быть разрушительными, но городские уличные сети не все одинаково уязвимы для этих катастроф. Наше исследование касается изучения вопросов нахождения наиболее уязвимых мест городской дорожной инфраструктуры используя, топологические свойства дорожной сети и мотивировано недавней публикацией [14]. В своей статье, Джефф Боинг и Джехьюн Ха (Университет Южной Калифорнии) смоделировали более 2,4 миллиарда поездок по более чем 8000 городских районов в 178 странах, а также события, приводящие к нарушению работы сети, таких как наводнения, землетрясения и целенаправленные атаки. Они обнаружили, что нарушение работы узлов графа дорожной сети с высокой степенью центральности серьезно влияет на функционирование сети. При прочих равных условия, сети с более высокой связностью, меньшим количеством узлов и меньшей степенью центральности менее уязвимы к последствиям разрушения. Таким образом, исследование данных авторов вносит в литературу новое глобальное понимание дизайна и уязвимости сетей. В настоящей статье мы пойдем несколько дальше, чем авторы публикации [14], определив понятие интегральной оценки

центральности узлов графа дорожной сети, что позволит естественным образом сравнивать устойчивость городов на основании понятия центральности.

Понятие центральности узла/ребра графа можно ввести множеством различных способов (см., например, [15]). Дадим определение, которое будет в дальнейшем использоваться в статье. Для фиксированного узла u графа G дорожной сети, пусть $\sigma_{st}(u)$ обозначает число кратчайших путей из узла s в узел t проходящих через данный узел u . Показатель *центральности по промежуточности* можно вычислить как:

$$B(u) = \sum_{s,t:s \neq t, s \neq u, t \neq u} \frac{\sigma_{st}(u)}{\sigma_{st}}$$

где σ_{st} – общее число всех кратчайших путей из узла s в узел t .

Нашим основным инструментом для изучения индексов центральности графов дорожной сети стала библиотека *sfnetworks* [16] языка программирования R. Для визуализации использовалась библиотека *ggplot2*.

Проиллюстрируем центральность по промежуточности на следующем примере. Попутно отметим, что аналогично можно рассмотреть сетевую проходимость ребер графа дорожной сети.



Рис.3. Центральность по промежуточности вершин графа дорожной сети г. Красноярск. Показатель центральности равен $bc \cdot 10^6$ (чем темнее и больше изображена вершина, тем больше значение показателя).

Например, на Рис.3 максимальное значение индекса наблюдается у перекрестка проспекта Свободный и улицы Маерчака, также высокие значения имеют развязки улиц

Брянская, 2-я Брянская, Калинина и Маерчака, кроме того, как можно было предположить, высокие значения у элементов дороги на мостах и подъездах к мостам.

Для исследования центральности узлов графа дорожной сети рассмотрим 5 крупных городов Российской Федерации: Екатеринбург, Казань, Красноярск, Новосибирск, Челябинск. Для каждого города вычислим индекс центральности для всех перекрестков и изобразим в виде оценки плотности центральности узлов графа.

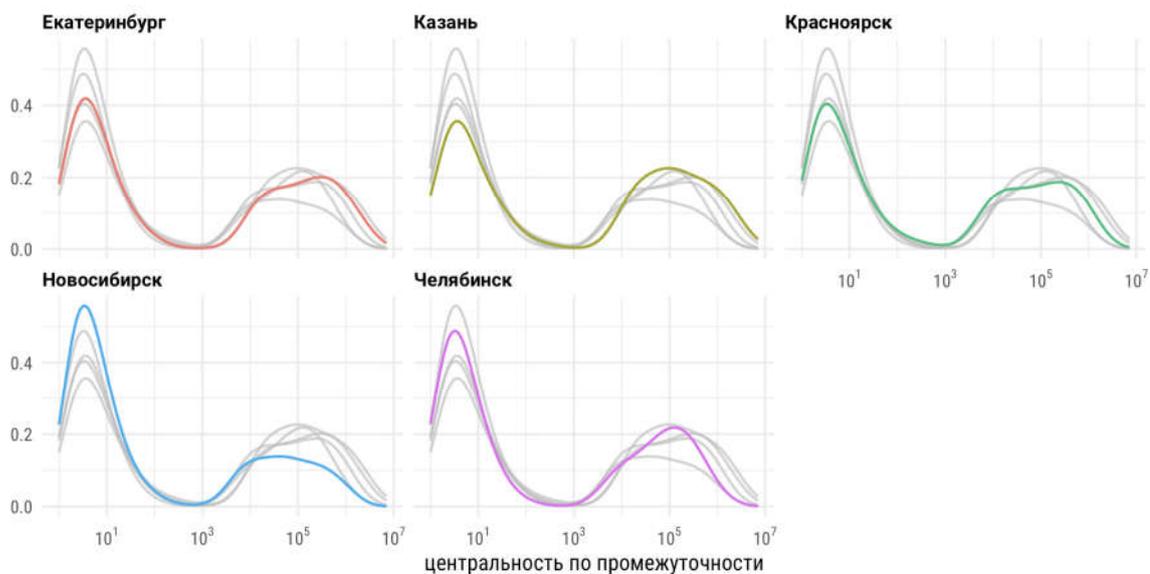


Рис.4. Плотность индексов центральности узлов графа дорожной сети для 5 крупных городов Российской Федерации.

Для того чтобы сказать, что городская дорожная сеть является устойчивой к внешним воздействиям, общий принцип таков: дорожная сеть должна содержать больше узлов с малыми значениями индексов центральности, и, в то же время, меньше узлов с большими значениями индексов. Из графика на Рис.4 мы видим, что из рассмотренных городов Новосибирск имеет наилучшую устойчивость.

На основе графика плотности, мы введем еще одно понятие, которое в лучшей мере может служить для сравнительного анализа, а именно интегральный показатель центральности узлов графа. Для этого на основе заданного распределения плотности центральности узлов строится функция на основе эмпирической кумулятивной функции распределения, что дает альтернативную визуализацию распределения, по сути, вычисляя площадь под графиком распределения в левее каждой точки графика плотности. Здесь чем выше кривая соответствующего графика, тем более устойчив граф дорожной сети.

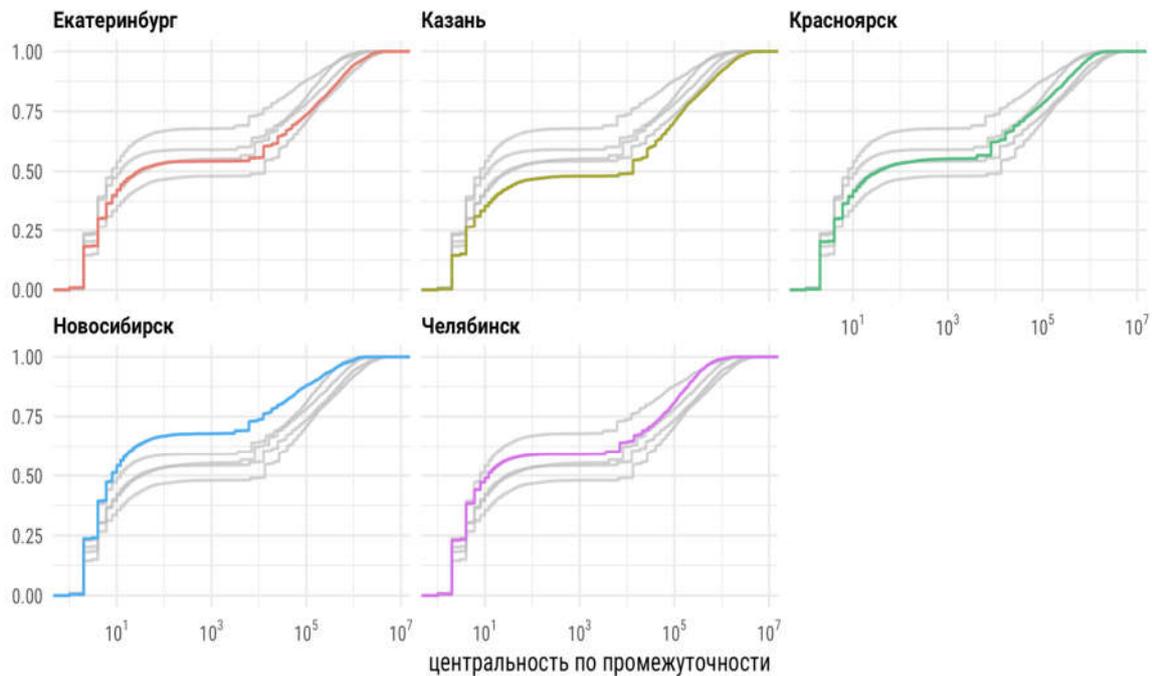


Рис.5. Интегральная оценка центральности узлов графа на примере 5 крупных городов Российской Федерации.

Таким образом, для примера из 5 городов РФ, можно построить соответствующие графики и выстроить иерархию, определив наиболее устойчивые муниципальные образования, что показано на рисунке ниже: чем больше кривая графика показывает рост, тем более устойчива городская сеть дорог к разрушительным явлениям, соответственно, можно построить больше путей из одной точки города в другую. Отметим, что данный подход дает гораздо больше информации, чем обобщенные показатели из статьи [14].

Оценка городской инфраструктуры, наиболее уязвимой для паводков

Одной из наибольших угроз, представляющих для городской среды, являются паводковые явления, изучение которых весьма сложная задача, поскольку причин, ведущих к затоплению, может быть очень много (см., например, [17]). Поскольку объекты дорожной сети могут подвергнуться опасности затопления, то важно указать наиболее уязвимые места на карте города. Технически полностью задача оценки рисков такого рода может быть крайне сложна из-за учета множества факторов, сезонности явлений и многого другого. В нашей работе, на основе библиотек языка программирования R, мы даем первоначальную оценку угрозы рисков подтоплений. Для этого мы используем цифровую модель рельефа местности (ЦМР) на основе растрового способа организации данных. Получение и работа с данными происходит с помощью библиотек *elevatr* и *terra* языка R.

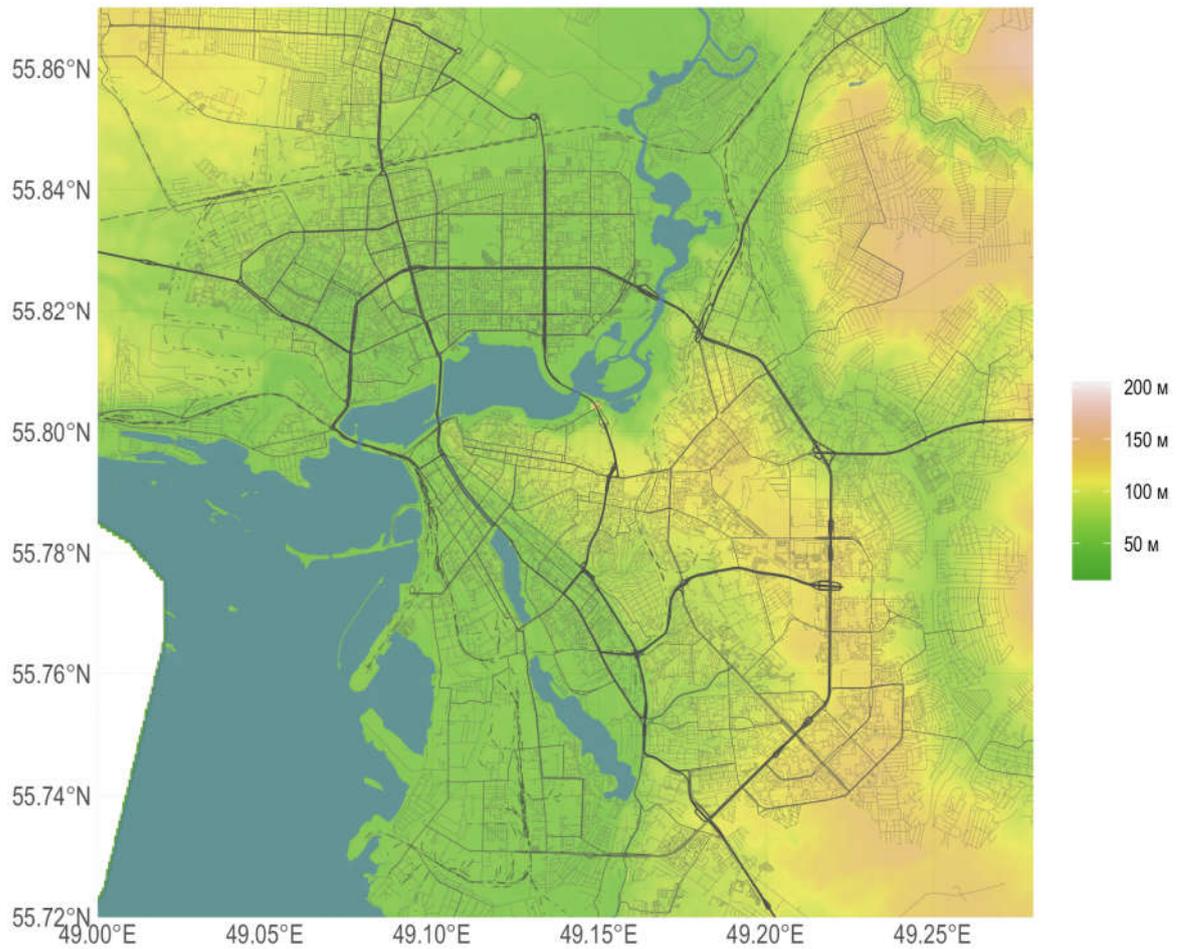


Рис.6. Пример отображения цифровой модели рельефа местности для центра г. Казань.

Следующим важным элементом для оценки угроз является расстояние от береговой линии до объектов городской структуры. Для этого необходимо загрузить *OpenStreetMap*-представление водных объектов в библиотеке *sf* и далее вычислить евклидово расстояние между объектами.

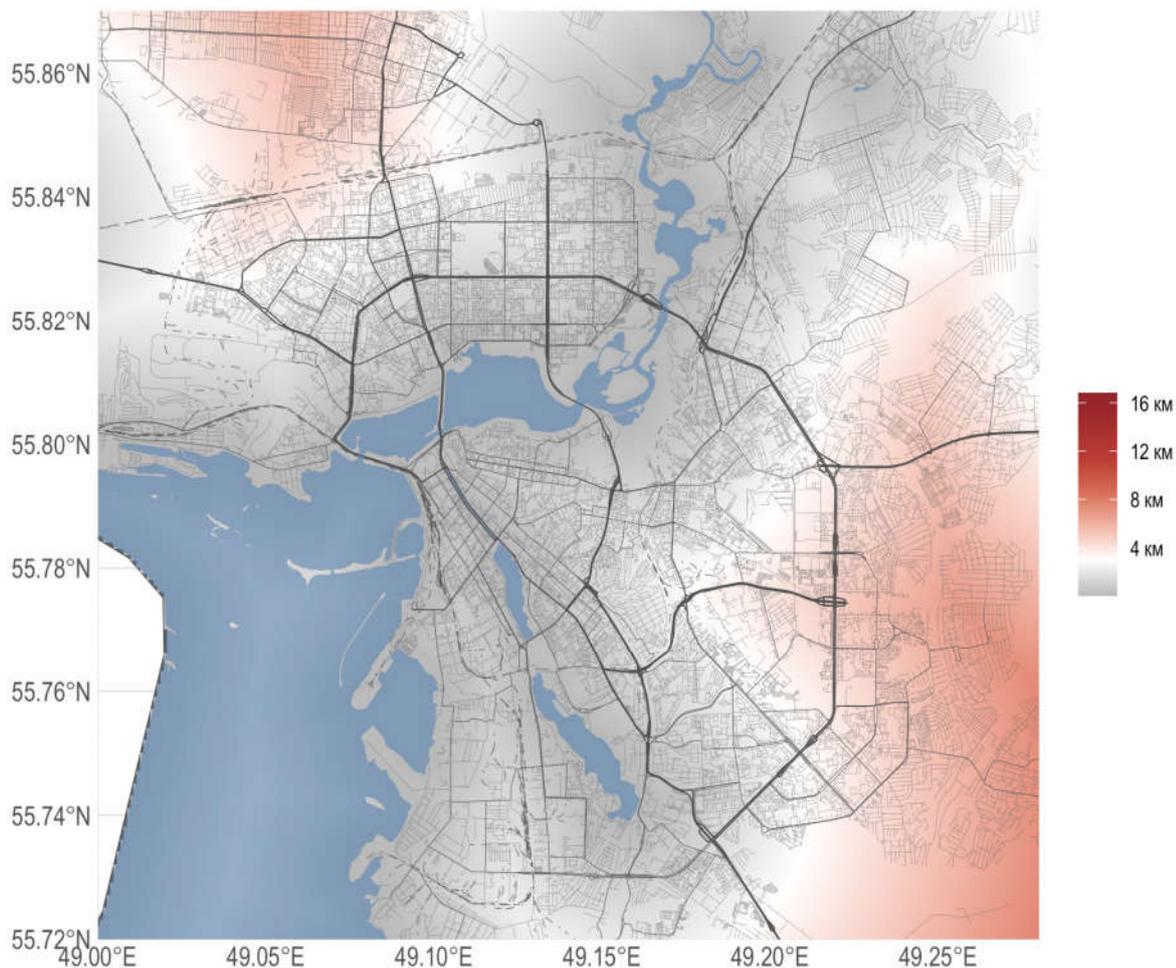


Рис. 7. Пример отображения расстояний до водных объектов.

Информацию, касающуюся цифровой модели рельефа местности и расстояния от береговой линии до объектов, можно объединить для дальнейшего моделирования. Например, мы построим модель для кластеризации при районировании рисков затопления на основе алгоритмов машинного обучения в библиотеке *tidyclust*, входящей в комплекс библиотек *tidymodels* для ML-моделирования. Разбиение на кластеры позволяет разделить объекты на не пересекающиеся группы на основе выбранной метрики таким образом, чтобы каждый объект находится только в одном кластере и кластеры существенно отличались друг от друга. Поскольку данный метод относится к классу задач «обучения без учителя» в разделах машинного обучения, необходимо либо самостоятельно указывать количество кластеров, либо определять количество кластеров по правилам, дающим минимизацию суммы квадратов внутрикластерных расстояний. Ниже показан пример кластеризации объектов городской инфраструктуры по категориям риска с помощью машинного обучения.

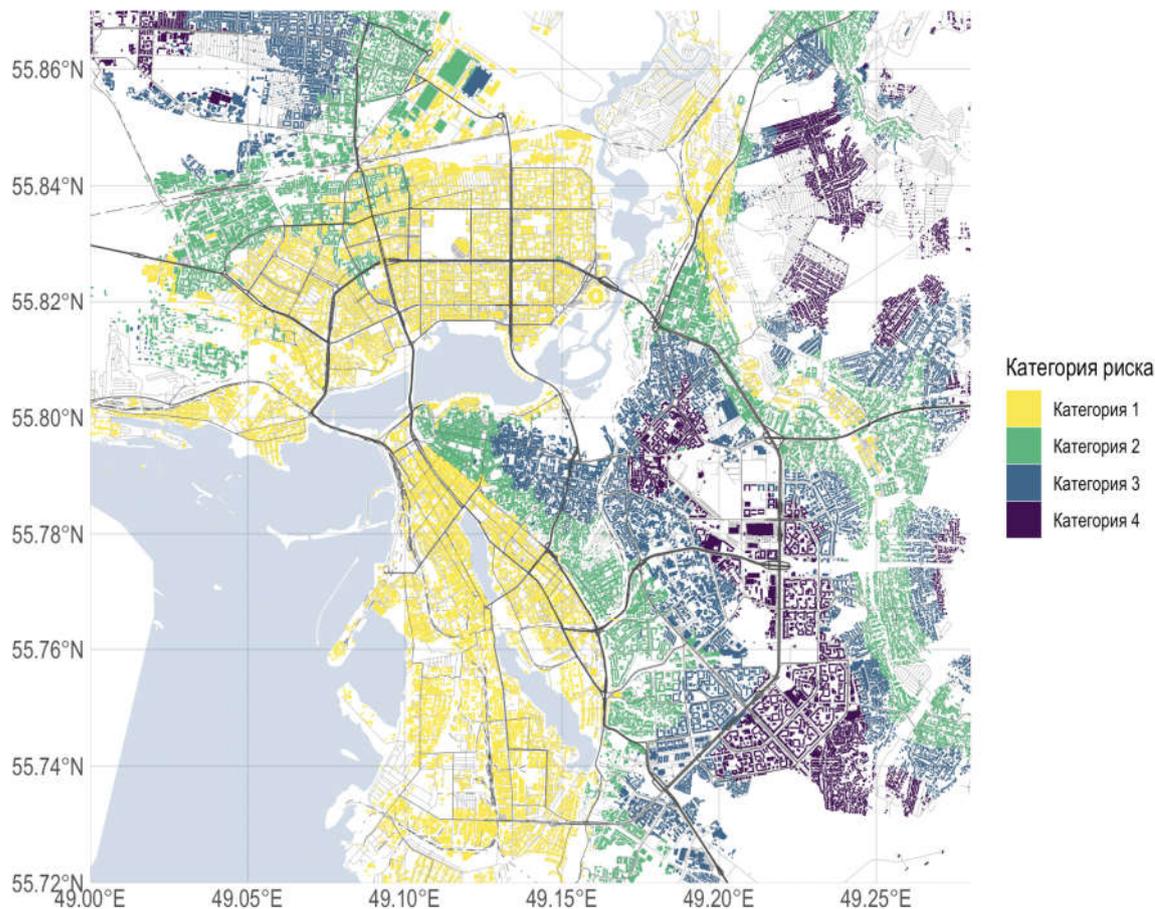


Рис.8. Пример кластеризации объектов городской инфраструктуры по категориям рисков затопления.

Заключение

Инфраструктура дорожно-транспортной сети имеет важнейшее значение для экономики городов, жизни и средств к существованию горожан. Мы рассмотрели различные типы устойчивости и уязвимости этой инфраструктуры: устойчивость по отношению к достижимости объектов из пожарных подразделений, нарушение инфраструктуры в результате таких бедствий, как землетрясения или целенаправленные атаки и возможные риски от наводнения.

Наши исследования имеют во многом теоретический характер, однако инструменты, введенные в статью, позволяют оценить качество дорожно-транспортной сети, а также возможность сравнительного анализа для различных населенных пунктов. Полученные результаты позволят градостроителям лучше понимать взаимосвязь между этими характеристиками рисков и проектированием сетей для более эффективного планирования, основанного на фактах, а руководителям принимать управленческие решения по созданию устойчивых, жизнеспособных городов.

Список источников

1. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс]. 2008. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения: 10.08.2024).
2. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. О нормировании времени прибытия пожарных подразделений к месту // Пожаровзрывобезопасность. 2021. С.30-31.
3. Матюшин А.В., Бобринев Е.В., Порошин А.А. Современные геоинформационные технологии в проектировании гарнизонов пожарной охраны // Пожарная безопасность. 2012. Т. 3.

4. Соколов С.В., Попков С.Ю., Портнов Д.А. Имитационная модель процесса функционирования территориальных добровольных пожарных команд для оценки параметров оперативного реагирования // Технологии техносферной безопасности. 2018. Т. 6, № 82. С. 22–31.
5. Соколов С.В., Фам К.Х., Брушлинский Н.Н. Разработка и адаптация имитационной системы оперативной деятельности пожарных подразделений к условиям Вьетнама // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2021. Т. 2. С. 5–14.
6. Хань Б., Чжэн Цз., Ху М. Выбор места расположения пожарных станций в крупных городах на основе фактических пространственно-временных потребностей: исследование города Нанкин // Международный журнал геоинформатики. 2021.
7. Фаргуэлл М.А., Хейли Дж. Оценка времени прибытия пожара с помощью машинного обучения со спутника обнаружения пожаров второго уровня // Дистанционное зондирование. 2021. Т. 11, № 13.
8. Шимон, Вишневицкий Доступность пожарной службы к потенциальным зонам вмешательства в Лодзинском воеводстве // CNBOP-PIB. 2016. Т. 131, № 43.
9. Матеров Е.Н. и др. Анализ пожарной и техносферной безопасности городской среды г. Красноярска с применением геопространственных инструментов // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. Т. 23, № 4. С. 128–136.
10. Бабёнышев С.В., Малютин О.С., Матеров Е.Н. Оптимизация границ районов выезда с использованием языка программирования Python и библиотеки OSMnx // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. Т. 28, № 1. С. 38–55.
11. Проект R для статистических вычислений [Электронный ресурс]. URL: <https://www.r-project.org/> (дата обращения: 10.08.2024).
12. Робин Лавлейс, Якуб Новосад, Яннес Мюнхов Геоанализы с R. Чепменом; Hall/CRC, 2019.
13. Самсонов Т.Е. Визуализация и анализ географических данных на языке R. М.: Географический факультет МГУ, 2022.
14. Боинг Дж., Ха Дж. Устойчивость по замыслу: Моделирование сбоев уличной сети в каждом городском районе мира // Исследования транспорта, часть А: Политика и практика. 2024. Т. 182.
15. Щербакова Н.Г. Меры центральности в сетях // Проблемы информатики. 2015.
16. Sfnetworks: аккуратные геопространственные сети в R [Электронный ресурс]. URL: <https://luukvdmeer.github.io/sfnetworks/> (дата обращения: 10.08.2024).
17. Михайлов В.Н., Добролюбов С.А. Гидрология: учебник для вузов. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2017.

References

1. Technical regulations on fire safety requirements: order of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation dated July 22, 2008 №. 123-FZ. [Electronic resource]. – Access mode: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/.
2. Brushlinsky N.N., Sokolov S.V. On rationing the time of arrival of fire departments to the place // Fire and explosion safety. 2021 (in Russian with English abstract).
3. Matyushin A.V., Bobrinev E.V., Poroshin A.A. Modern geoinformation technologies in the design of fire protection garrisons // Fire safety. 2012. Vol. 3 (in Russian with English abstract).
4. Sokolov S.V., Popkov S.Yu., Portnov D.A. Simulation model of the process of functioning of territorial voluntary fire brigades to assess the parameters of rapid response // Technosphere safety technologies. 2018. Vol. 6, №. 82. pp. 22-31 (in Russian with English abstract).
5. Sokolov S.V., Pham K.H., Brushlinsky N.N. Development and adaptation of the simulation system of operational activities of fire departments to the conditions of Vietnam // Fires and emergencies: prevention, elimination. 2021. Vol. 2. pp. 5-14 (in Russian with English abstract).
6. Han B., Zheng J., Hu M. Site Selection of Fire Stations in Large Cities Based on Actual Spatiotemporal Demands: A Case Study of Nanjing City // International Journal of Geo-Information. 2021.
7. Farguell M.A. Haley J. Machine Learning Estimation of Fire Arrival Time from Level-2 Active Fires Satellite // Remote sensing. 2021. Т. 11, № 13.

8. Szymon, Wiśniewski Fire service accessibility to potential intervention areas in Łódź voivodship // CNBOP-PIB. 2016. Vol. 131, № 43.
9. Materov E.N. et al. Analysis of fire and technosphere safety of the urban environment of Krasnoyarsk using geospatial tools // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2021. Vol. 23, №. 4. pp. 128-136.
10. Babenyshev S.V., Malyutin O.S., Materov E.N. Optimization of the boundaries of exit areas using the Python programming language and the OSMnx library // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2023. Vol. 28, №. 1. pp. 38-55.
11. The R Project for Statistical Computing [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.r-project.org/>.
12. Robin Lovelace, Jakub Nowosad, Jannes Muenchow Geocomputation with R. Chapman; Hall/CRC, 2019.
13. Samsonov T.E. Visualization and analysis of geographical data in the language of R. M.: Faculty of Geography, Moscow State University, 2022.
14. Boeing G., Ha J. Resilient by design: Simulating street network disruptions across every urban area in the world // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2024. Т. 182.
15. Shcherbakova N.G. Measures of centrality in networks // Problems of informatics. 2015.
16. Sfnetworks: Tidy Geospatial Networks in R [Electronic resource]. – Access mode: <https://luukvdmeer.github.io/sfnetworks/>.
17. Mikhailov V.N., Dobrolyubov S.A. Hydrology: textbook for universities. M.; Berlin: Direct Media, 2017.

Информация об авторах

С.В. Бабёнышев – кандидат физико-математических наук

Е.Н. Матеров – кандидат физико-математических наук

Information about the authors

S.V. Babenyshev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences

E.N. Materov – Candidate of Physical and Mathematical Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.07.2024, одобрена после рецензирования 22.08.2024, принята к публикации 02.09.2024.

The article was submitted 30.07.2024, approved after reviewing 22.08.2024, accepted for publication 02.09.2024.

Научная статья
УДК 614.841.3:004.93
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.96.69.009

Показатели эффективности противопожарной защиты в регионах

Ахмад Шарофиддинович Джалолов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Автор ответственный за переписку: Ахмад Шфрофиддинович Джалолов, dzhalolov@mail.ru

Аннотация. В настоящее время актуальными являются вопросы поддержки принятия решений при проблемном мониторинге состояния различных сфер деятельности в регионах (например, обеспечения безопасности критически важных объектов, распределения ресурсов, оценки эффективности противопожарной защиты). При оценке ситуации в регионе учитывают разноплановую информацию, которая влияет на качество жизни населения. Собранные статистические данные характеризуют различные региональные процессы, в том числе, связанные с экономикой, финансами, окружающей средой, здоровьем и безопасностью людей, технологической средой. В статье основное внимание уделено оценке эффективности противопожарной защиты. Подчеркнуто, что знание текущей оценки состояния региона позволяет прогнозировать его развитие, в том числе в условиях возможных чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера.

Ключевые слова: регион, пожарная безопасность, неструктурированные данные, оценка состояния, показатели эффективности

Для цитирования: Джалолов А.Ш. Показатели эффективности противопожарной защиты в регионах // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 119-127. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.96.69.009>.

Original article

INDICATORS OF FIRE PROTECTION EFFECTIVENESS IN THE REGIONS

Akhmad S. Dzhalolov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Corresponding author: Akhmad S. Dzhalolov, dzhalolov@mail.ru

Abstract. Currently, the issues of decision support in problematic monitoring of the state of various spheres of activity in the regions (for example, ensuring the safety of critical facilities, resource allocation, assessing the effectiveness of fire protection) are relevant. When assessing the situation in the region, diverse information is taken into account that affects the quality of life of the population. The collected statistical data characterize various regional processes, including those related to the economy, finance, the environment, human health and safety, and the technological environment. The article focuses on assessing the effectiveness of fire protection. It is emphasized that knowledge of the current assessment of the state of the region allows predicting its development, including in the context of possible emergency situations of man-made and natural origin.

Keywords: region, fire safety, unstructured data, state assessment, performance indicators

For citation: Dzhahalolov A.S. Indicators of Fire Protection Effectiveness in the Regions // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2024. № 3 (34). С. 119-127. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.96.69.009>.

Введение

Обеспечение стабильности социально-экономической ситуации в регионах является важной государственной задачей. Для ее эффективного решения осуществляется поиск направлений по разработке новых инструментов анализа данных в сфере государственного и регионального управления.

Как правило, при управлении регионами информация носит территориально-распределенный характер и является разнородной, что особенно заметно в социальной сфере, экономике, при ликвидации последствий чрезвычайных происшествий и т.д. Для анализа подобных неструктурированных данных требуются подходы на основе развития методов и средств поддержки принятия решений. Более того, развитие системы распределенных центров принятия решений становится основой цифровой трансформации экономики страны и государственного управления. В этой связи актуальными являются вопросы поддержки принятия решений при проблемном мониторинге состояния различных сфер деятельности в регионах (например, обеспечения безопасности критически важных объектов, распределения ресурсов, оценки эффективности противопожарной защиты) [1-5].

Решение большинства указанных задач требует объективного оценивания социально-экономического состояния региона. Отметим, что при оценке ситуации в регионе учитывают разноплановую информацию, которая влияет на качество жизни населения. Собранные статистические данные характеризуют различные региональные процессы, в том числе, связанные с экономикой, финансами, окружающей средой, здоровьем и безопасностью людей, технологической средой [6-8]. Учитывая разнородность показателей региональных процессов, традиционно при их анализе применяют системный подход и экспертные оценки. Более того, знание текущей оценки состояния региона позволяет прогнозировать его развитие, в том числе в условиях возможных чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера [9-12].

Обеспечение противопожарной безопасности в регионах является актуальной задачей защиты населения и региональной инфраструктуры от возможных чрезвычайных ситуаций. Это объясняется тем, что пожары наносят значительный ущерб, ставя под угрозу жизни людей, уничтожая имущество и природные ресурсы. Эффективная противопожарная защита способствует созданию стабильной и безопасной среды, что является основой для долгосрочного экономического роста и социального процветания. Именно поэтому уровень развития противопожарной безопасности является важнейшим фактором оценки социально-экономического положения регионов Российской Федерации. Он может служить индикатором эффективности защиты жизни и здоровья граждан, сохранения инфраструктуры, экономической, финансовой стабильности и инвестиционной привлекательности регионов.

Среди первоочередных задач, связанных с противопожарными мероприятиями, можно выделить противопожарную защиту критических объектов и социальной инфраструктуры, обеспечение безопасности населения, организацию необходимых спасательных мероприятий и тушение пожаров, приобретение современной пожарной техники [13-16]. Отметим, что решение этих задач требует дополнительного финансирования, в том числе и бюджетного [17]. Поэтому важно оценить эффективность противопожарных мероприятий в регионе.

В настоящее время для поддержки принятия управленческих решений разрабатываются интеллектуальные системы [18-21]. Для их эффективного использования требуется предварительное формирование вектора показателей для оценки состояния объекта (в данном случае, региона). Указанные показатели должны быть не только структурированы по видам региональных процессов, но и нормированы для их сравнения и анализа.

Целью исследования является разработка системы показателей, характеризующих эффективность противопожарной защиты.

Предлагаемые показатели оценки эффективности противопожарной безопасности

Оценка уровня противопожарной безопасности в Российской Федерации должна быть комплексной и учитывать различные аспекты, влияющие на эффективность противопожарной защиты. Для ее оценки в субъектах Российской Федерации предлагается использовать различные группы показателей, в том числе:

1. темп сокращения количества пожаров;
2. темпы сокращения числа пострадавших и погибших в результате пожаров;
3. темп роста прямых материальных потерь в результате пожаров;
4. показатели, характеризующие эффективное предупреждение и ликвидацию пожаров.

Рассмотрим эти показатели более подробно. Каждый показатель сформирован на основе экспертной оценки имеющихся статистических данных по пожарам, а затем его значение нормировано от 0 до 1.

Темп сокращения числа пожаров

Темп сокращения числа пожаров является наиболее важным показателем для оценки эффективности противопожарных мероприятий и общего уровня безопасности в регионе. Этот показатель не только отражает непосредственные успехи в борьбе с пожарами, но и существенно влияет на социально-экономические условия региона. Определение количества пожаров дает комплексное представление о безопасности, эффективности управленческих решений и устойчивости региона к чрезвычайным ситуациям.

Устойчивое снижение количества пожаров свидетельствует об эффективности противопожарных мероприятий и программ. В регионах, где меньше пожаров, как правило, наблюдается более высокий уровень безопасности и стабильности, что можно объяснить качественной работой пожарных служб, эффективными профилактическими мерами и успешной реализацией государственной политики пожарной безопасности.

Для оценки уровня пожарной безопасности в регионе предлагается использовать показатель, измеряющий темп снижения количества пожаров (Табл.1).

Табл.1. Показатель x_1 темпа сокращения количества пожаров

Результаты расчета	Темп сокращения количества пожаров (RRF)	
	$RRF \leq 1$	$RRF > 1$
Значение x_1	0	1

Темпы снижения количества пострадавших и погибших от пожаров

Сокращение количества жертв и смертей усиливает восприятие региона как безопасного места для жизни и работы. Безопасные и процветающие регионы привлекают новых жителей и помогают сохранить существующее население, положительно влияя на демографию.

Динамика количества жертв напрямую отражает уровень безопасности населения. Сокращение числа жертв означает улучшение социального обеспечения и, как следствие, общего благосостояния. Меньшее количество жертв и смертей снижает нагрузку на систему здравоохранения, снижая стоимость медицинской помощи и реабилитации.

Снижение количества пострадавших и погибших в результате пожаров является важнейшими показателями оценки пожарной безопасности и социально-экономической ситуации в регионах. Эти показатели, рассчитанные на основе предшествующих периодов, не только характеризуют успехи в предотвращении и борьбе с пожарами, но также служат показателями общего благополучия и стабильности региона (Табл.2,3).

Табл.2. Показатель x_2 темпа сокращения числа пострадавших в результате пожаров

Результаты расчета	Темп сокращения числа пострадавших в результате пожаров ($RRIF$)	
	$RRIF \leq 1$	$RRIF > 1$
Значение x_2	0	1

Табл.3. Показатель x_3 темпа сокращения числа погибших в результате пожаров

Результаты расчета	Темп сокращения числа погибших в результате пожаров ($RRDF$)	
	$RRDF \leq 1$	$RRDF > 1$
Значение x_3	0	1

Темп роста прямых материальных потерь

Пожары могут нанести существенный прямой экономический ущерб, разрушая жилые и коммерческие здания, инфраструктуру и имущество. Скорость увеличения этих потерь подчеркивает серьезность ситуации и указывает на необходимость принятия дополнительных мер.

Анализируя темпы роста материального ущерба, власти субъектов Российской Федерации могут эффективно расставлять приоритеты в бюджетных расходах, направляя больше средств на повышение пожарной безопасности. Высокие материальные потери от пожаров создают дополнительную нагрузку на региональные бюджеты, поскольку требуются значительные ресурсы на восстановление инфраструктуры, компенсацию пострадавшим и профилактические меры против будущих пожаров.

Значительные материальные потери могут приводить к социальной нестабильности, увеличению уровня безработицы и ухудшению социальных условий. Нормирование показателя темп роста прямых материальных потерь в результате пожаров представлено в Табл.4.

Табл.4. Показатель x_4 темпа роста прямых материальных потерь в результате пожаров

Результаты расчета	Темп роста прямых материальных потерь в результате пожаров ($GRML$)		
	$GRML \leq 0,5$	$0,5 < GRML \leq 1$	$GRML > 1$
Значение x_4	1	0,5	0

Оценка эффективности предупреждения и ликвидации пожаров

Определение основных причин возгораний (человеческий фактор, технические неисправности или природные явления) позволяет разработать целенаправленные и эффективные меры профилактики и реагирования, что существенно снижает риск возникновения пожаров, повышает противопожарную безопасность и способствует общему социально-экономическому благополучию регионов Российской Федерации.

Рассмотрим эти причины подробнее, чтобы определить соответствующие показатели эффективности.

Анализ причин возгораний помогает разработать конкретные меры профилактики, обучения, контроля и реагирования, которые соответствуют специфическим рискам и условиям каждого региона (обучение и информирование населения, ужесточение контроля и наказаний, технические проверки и обслуживание, модернизация инфраструктуры, создание противопожарных полос и барьеров и т.п.).

Для профилактики пожаров, причиной возникновения которых является человеческий фактор, требуется проведение информирования населения (проведение регулярных тренингов, семинаров и информационных кампаний по правилам пожарной безопасности). Для профилактики пожаров, вызванных техническими неисправностями, необходим усиленный

контроль за соблюдением противопожарных норм и стандартов в жилых, коммерческих и промышленных зданиях, а также осуществление непрерывных инспекций сооружений и оборудования. Для предотвращения пожаров, вызванных природными явлениями, необходимо внедрять комплексные профилактические меры, например, создание противопожарных полос и барьеров, мониторинг и раннее предупреждение пожаров (в том числе посредством беспилотных летательных аппаратов в труднодоступных и отдаленных лесных территориях), поддержку и развитие добровольных пожарных дружин, обучение их членов и обеспечение необходимым оборудованием и пожарной техникой.

Пожарная техника - специализированное оборудование и транспортные средства, предназначенные для тушения пожаров, спасательных операций и предотвращения их возникновения. Надежная и современная пожарная техника обеспечивает эффективное реагирование на пожары, снижая риск их распространения и минимизируя ущерб.

Оперативность реагирования является одним из важнейших аспектов успешной борьбы с пожарами. Быстрое прибытие пожарных на место происшествия, своевременное начало тушения и эффективные действия по эвакуации и спасению жизней играют решающую роль в минимизации ущерба и предотвращении катастроф. Поэтому применение надежных и эффективных пожарных машин является критически важным элементом в системе противопожарной безопасности.

Учитывая изложенное, предлагается внедрить набор показателей по оценке эффективности предупреждения и ликвидации пожаров, характеризующих следующую информацию:

- 1) Темпы роста числа проведенных информационных кампаний по противопожарной безопасности и охвата ими населения региона;
- 2) Темп роста числа проведенных противопожарных проверок зданий и сооружений и доля устраненных нарушений по выданным предписаниям;
- 3) Темп роста протяженности контролируемого выжигания и опашки лесов и полей;
- 4) Темп роста числа сотрудников противопожарной службы, включая добровольцев;
- 5) Количество и состояние пожарной техники;
- 6) Время реагирования на пожары;
- 7) Количество дронов, используемых для разведки и тушения пожаров в опасных зонах.

В Табл.5-8 приведена информация по первым четырем пунктам для оценки предлагаемых показателей.

Табл.5. Показатели x_5 темпа роста числа проведенных информационных кампаний по противопожарной безопасности (GRIC) и x_6 охвата ими населения региона (GRCIC)

Результаты расчета	$GRIC \leq 1$	$GRIC > 1$	$GRCIC \leq 1$	$GRCIC > 1$
Значения	$x_5 = 0$	$x_5 = 1$	$x_6 = 0$	$x_6 = 1$

Табл.6. Показатели x_7 темпа роста числа проведенных противопожарных проверок зданий и сооружений (GRFI) и x_8 доли устраненных нарушений по выданным предписаниям (PVE)

Результаты расчета	$GRFI \leq 1$	$GRFI > 1$	$PVE \leq 90\%$	$PVE > 90\%$
Значения	$x_7 = 0$	$x_7 = 1$	$x_8 = 0$	$x_8 = 1$

Табл.7. Показатель x_9 темпа роста протяженности контролируемого выжигания и опашки лесов и полей (GRCBaP)

Результаты расчета	$GRCBaP \leq 1$	$GRCBaP > 1$
Значение x_9	0	1

Табл.8. Показатель x_{10} темпа роста числа сотрудников противопожарной службы, включая добровольцев (GRFSE)

Результаты расчета	$GRFSE \leq 1$	$GRFSE > 1$
Значение x_{10}	0	1

В Табл.9-11 приведена информация по оценке показателей, характеризующих количество и состояние пожарной техники.

Табл.9. Показатель x_{11} темпа роста количества пожарных машин, включая специализированные машины (GRFT) (автолестницы, насосные станции и т.д.)

Результаты расчета	$GRFT \leq 0,5$	$0,5 < GRFT \leq 1$	$GRFT > 1$
Значение x_{11}	0	0,5	1

Табл.10. Показатель x_{12} динамики отношения числа пожарных машин к численности населения региона (DFTP)

Результаты расчета	$DFTP \leq 1$	$DFTP > 1$
Значение x_{12}	0	1

Табл.11. Показатель x_{13} динамики доли неисправной и морально устаревшей пожарной техники (DSDFE)

Результаты расчета	$DSDFE \leq 0,5$	$0,5 < DSDFE \leq 1$	$DSDFE > 1$
Значение x_{13}	1	0,5	0

В Табл.12-13 приведена информация по оценке показателей, характеризующих время реагирования на пожары.

Табл.12. Показатель x_{14} динамики времени от вызова до прибытия (DT1)

Результаты расчета	$DT1 \leq 1$	$DT1 > 1$
Значение x_{14}	1	0

Табл.13. Показатель x_{15} динамики времени локализации и тушения пожара (DT2)

Результаты расчета	$DT2 \leq 1$	$DT2 > 1$
Значение x_{15}	1	0

В Табл.14 приведена информация по оценке показателя, характеризующего количество используемых дронов.

Табл.14. Показатель x_{16} количества дронов, используемых для разведки и тушения пожаров в опасных зонах (Drones)

Результаты расчета	$Drones \leq 1$	$2 \leq Drones < 5$	$Drones \geq 5$
Значение x_{16}	0	0,5	1

Таким образом, предлагается оценивать эффективность противопожарной безопасности по 16 показателям. Среди них 12 показателей оценивают эффективность предупреждения и ликвидации пожаров. Полученные результаты обеспечивают поддержку управленческих решений по организации эффективных противопожарных мероприятий, автоматизируя расчет эффективности на основе имеющихся статистических данных.

Заключение

В статье показано, что эффективная противопожарная защита имеет важное значение не только для сохранения жизни и имущества людей, но и для поддержания стабильного социально-экономического развития регионов. Более того, эффективная противопожарная защита способствует созданию стабильной и безопасной среды, что является основой для долгосрочного экономического роста и социального процветания регионов.

Уровень противопожарной защиты, рассчитанный по предлагаемым показателям, может служить индикатором эффективности защиты жизни и здоровья граждан, сохранения инфраструктуры, экономической, финансовой стабильности и инвестиционной привлекательности регионов.

Список источников

1. Джалолов А.С., Булдакова Т.И., Пролетарский А. Модуль поддержки принятия социально-экономических решений по неструктурированным данным // Конференция молодых ученых России по электротехнике и электронике (EIconRus), Санкт-Петербург и Москва, Россия, 2020, стр. 1931-1934. DOI: 10.1109/EIconRus49466.2020.9039086.
2. Вешнева И., Чернышова Г., Большаков А. Исследование региональной конкурентоспособности на основе цифровых моделей с использованием уравнений Колмогорова-Чепмена // Кравец А.Г., Большаков А.А., Щербаков М. (ред.). Общество 5.0: киберпространство для передового человекоцентрированного общества. Исследования по системам, принятию решений и управлению. 2021, т. 333. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-63563-3_12.
3. Цыгичко В.Н., Черешкин Д.С., Смолян Г.Л. Безопасность критических инфраструктур. М.: URSS, 2019. 193 с.
4. Маслобоев А.В. Информационно-технологическая архитектура ситуационного центра управления комплексной безопасностью региона // Информационно-технологический вестник. 2019. № 1 (19). С. 107-117.
5. Головина Е.В., Калач А.В., Беззапонная О.В., Крутолапов А.С., Шарапов С.В. Повышение безопасности объектов нефтегазового комплекса путем совершенствования огнезащитных составов. Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety // 2022. Т. 31. № 3. С. 24–33. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.03.24-33.
6. Булдакова Т.И., Джалолов А.Ш. Управление развитием регионов на основе анализа рейтингов региональных процессов // Инжиниринг предприятий и управление знаниями: сборник научных трудов XXIV Международной научной конференции. Москва: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2022. С. 16-22.
7. Джалолов А.Ш. Оценка социально-экономического состояния региона на основе рейтингов // Математические методы в технологиях и технике. 2021. № 5. С. 22-25. DOI: 10.52348/2712-8873_ММТТ_2021_5_22.
8. Булдакова Т.И., Джалолов А.Ш. Оценка социально-экономического состояния региона при управлении рисками // Региональная информатика и информационная безопасность: Сборник трудов. Выпуск 12. СПб.: СПОИСУ, 2023. С. 157-161.
9. Хабибулин Р.Ш., Тараканов Д.В. Многокритериальный анализ пожарных рисков. Модель количественной важности рисков «один ко многим» // Технологии техносферной безопасности. 2023. Вып. 3 (101). С. 105-113. URL: <https://doi.org/10.25257/TTS.2023.3.101.105-113>.
10. Еремина Т., Корольченко Д. Огнезащита строительных конструкций с применением огнезащитных вспучивающихся составов // Здания. 2020. Т. 10. С. 185. DOI: 10.3390/buildings10100185.
11. Авдеенко А.М., Сатин А.П., Нгуен Вьонг Ань, Лахвицкий Г.Н. Информационно-аналитическая поддержка руководителя при организации профилактики пожаров на основе статистического анализа баз данных // Технологии техносферной безопасности. 2023. Вып. 4 (102). С. 79-97. URL: <https://doi.org/10.25257/TTS.2023.4.102.79-97>.
12. Ким Дж.Х., Баег Д.Ю., Сео Дж.К. Численное исследование остаточной прочности стальной усиленной панели, подверженной углеводородному пожару // Журнал океанической инженерии и технологий. 2021. Т. 35. С. 203–215. DOI: 10.26748/KSOE.2021.008.
13. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Григорьева М.П. Об организации систем обеспечения безопасности городов // Технологии техносферной безопасности. 2022. № 3(97). С. 84-99. DOI 10.25257/TTS.2022.3.97.84-99.
14. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Григорьева М.П., Вагнер П. Моделирование в области обеспечения пожарной безопасности (обзор) // Пожаровзрывобезопасность/Fire and

Explosion Safety. 2023. Т. 32. №1. С. 57-68. URL: <https://doi.org/10.22227/0869-7493.2023.32.01.57-68>.

15. Барановский А.С. Принципиальные проблемы применения расчета пожарного риска. Необходимость и возможности его оптимизации // Пожаровзрывобезопасность. 2024. Т. 33, № 2. С. 5-14. DOI 10.22227/0869-7493.2024.33.02.5-14.

16. Чжан Т., Ван З., Вонг Х.Ю., Там В.Ч., Хуан С., Сяо Ф. Прогнозирование пожара и вспышки в отсеке в режиме реального времени на основе глубокого обучения // Журнал пожарной безопасности. 2022. Т. 130. С. 103579. URL: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103579>.

17. Булдакова Т.И., Джалолов А.Ш. Интеллектуальная поддержка принятия решений по бюджетному кредитованию регионов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: управление, вычислительная техника и информатика. 2017. № 1. С. 98-104.

18. Чернышова Г., Вешнева И., Пиунова Е. Анализ динамики инновационной конкурентоспособности регионов России с использованием нечетких методов // Кравец А.Г., Большаков А.А., Щербakov М. (ред.) Общество 5.0: проблемы и решения человекоцентричного общества. 2022. Т. 416. Cham: Springer, стр. 115–128. DOI 10.1007/978-3-030-95112-2_10.

19. Булдакова Т.И., Суятинов С.И. Оценка состояния компонентов производственной системы для технологии цифровых двойников // Кравец А., Большаков А., Щербakov М. (ред.) Киберфизические системы: вызовы Индустрии 4.0. Исследования в области систем, принятия решений и управления. 2020. Т. 259. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-32579-4_20.

20. Суятинов С.И., Булдакова Т.И., Вишневская Ю.А. Синергетическая модель ситуационной осведомленности человека-оператора в эргатических системах управления подвижными объектами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2022. №6. С. 302-306.

21. Пэнчэн Лю, Хуннянь Ю. Интеллектуальное пожаротушение с помощью роботов и междисциплинарные перспективы // Труды 22-й Международной конференции по автоматизации и вычислениям, Университет Эссекса, Колчестер, Великобритания, 7-8 сентября 2016 г. 2016. URL: <https://doi.org/10.1109/ICoNAC.2016.7604952>.

References

1. Dzhalogov A.S., Buldakova T.I., Proletarsky A. Socio-Economic Decision Support Module by Unstructured Data // IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EConRus), St. Petersburg and Moscow, Russia, 2020, pp. 1931-1934. DOI: 10.1109/EConRus49466.2020.9039086.

2. Veshneva I., Chernyshova G., Bolshakov A. Regional Competitiveness Research Based on Digital Models Using Kolmogorov-Chapman Equations // Kravets A.G., Bolshakov A.A., Shcherbakov M. (eds). Society 5.0: Cyberspace for Advanced Human-Centered Society. Studies in Systems, Decision and Control. 2021, vol 333. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-63563-3_12.

3. Tsygichko V.N., Chereskin D.S., Smolyan G.L. Safety of critical infrastructure. M.: URSS, 2019. 193 p.

4. Masloboev A.V. Information and technological architecture of the situational center for managing complex security of the region // Information and technological bulletin. 2019. №. 1 (19). Pp. 107-117.

5. Golovina E.V., Kalach A.V., Bezzaponnaya O.V., Krutolapov A.S., Sharapov S.V. Improving the safety of oil and gas facilities by improving flame retardants // Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety. 2022. Vol. 31. №. 3. Pp. 24–33. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.03.24-33.

6. Buldakova T.I., Dzhalogov A.Sh. Managing the development of regions based on the analysis of ratings of regional processes // Engineering of enterprises and knowledge management: collection of scientific papers of the XXIV International Scientific Conference. Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "REU im. G. V. Plekhanov", 2022. p. 16-22.

7. Dzhalogov A.Sh. Assessment of the socio-economic state of the region based on ratings // Mathematical methods in technologies and engineering. 2021. №. 5. pp. 22-25.

8. Buldakova T.I., Dzhahalolov A.Sh. Assessment of the socio-economic state of the region in risk management // Regional informatics and information security: A collection of works. Issue 12. St. Petersburg: SPOISU, 2023. pp. 157-161.
9. Khabibulin R.Sh., Tarakanov D.V. Multi-criteria analysis of fire risks. A model of the quantitative importance of risks "one to many". Technology of technosphere safety. 2023. №. 3(101). Pp. 105-113. URL: <https://doi.org/10.25257/TTS.2023.3.101.105-113>.
10. Eremina T., Korolchenko D. Fire protection of building constructions with the use of fire-retardant intumescent compositions // Buildings. 2020. Vol. 10. p. 185. DOI: 10.3390/buildings10100185.
11. Avdeenko A.M., Satin A.P., Nguyen Phuong An., Lokhvitsky G.N. Information and analytical support of the head in the organization of fire prevention based on statistical analysis of databases // Technosphere safety technologies. 2023. Issue 4 (102). pp. 79-97. URL: <https://doi.org/10.25257/TTS.2023.4.102.79-97>.
12. Kim J.H., Baeg D.Y., Seo J.K. Numerical investigation of residual strength of steel stiffened panel exposed to hydrocarbon fire // Journal of Ocean Engineering and Technology. 2021. Vol. 35. Pp. 203–215. DOI: 10.26748/KSOE.2021.008.
13. Brushlinsky N.N., Sokolov S.V., Grigorieva M.P. On the organization of urban security systems // Technosphere security technologies. 2022. No. 3(97). Pp. 84-99. (rus). DOI 10.25257/TTS.2022.3.97.84-99.
14. Brushlinsky N.N., Sokolov S.V., Grigorieva M.P., Wagner P. Modeling in the field of fire safety (review) // Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety. 2023. Vol. 32. №.1. Pp. 57-68. URL: <https://doi.org/10.22227/0869-7493.2023.32.01.57-68>.
15. Baranovsky A.S. Fundamental problems of applying fire risk calculation. The necessity and possibilities of its optimization // Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety. 2024. Vol. 33. №. 2. pp. 5-14. DOI 10.22227/0869-7493.2024.33.02.5-14.
16. Zhang T., Wang Z., Wong H.Y., Tam W.Ch., Huang X., Xiao F. Real-time forecast of compartment fire and flashover based on deep learning // Fire Safety Journal. 2022. Vol. 130. p. 103579. URL: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103579>.
17. Buldakova T.I., Dzhahalolov A.Sh. Intellectual support for decision-making on budget lending to regions // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: management, computer technology and information science. 2017. №. 1. pp. 98-104.
18. Chernyshova G., Veshneva I., Piunova E. Analysis of Russian Regions Innovative Competitiveness Dynamics Using Fuzzy Methods // Kravets A.G., Bolshakov A.A., Shcherbakov M. (eds) Society 5.0: Human-Centered Society Challenges and Solutions. 2022. Vol. 416. Cham: Springer, pp. 115-128. DOI 10.1007/978-3-030-95112-2_10.
19. Buldakova T.I., Suyatinov S.I. Assessment of the State of Production System Components for Digital Twins Technology // Kravets A., Bolshakov A., Shcherbakov M. (eds) Cyber-Physical Systems: Industry 4.0 Challenges. Studies in Systems, Decision and Control. 2020. Vol. 259. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-32579-4_20.
20. Suyatinov S.I., Buldakova T.I., Vishnevskaya Yu.A. A synergetic model of situational awareness of a human operator in ergatic control systems for moving objects // Mechatronics, automation, management. 2022. №.6. pp. 302-306.
21. Pengcheng Liu, Hongnian Yu. Robot-assisted smart firefighting and interdisciplinary perspectives // Proceedings of the 22nd International Conference on Automation & Computing, University of Essex, Colchester, UK, 7-8 September 2016. 2016. URL: <https://doi.org/10.1109/IConAC.2016.7604952>.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.07.2024, одобрена после рецензирования 26.08.2024, принята к публикации 06.09.2024.

The article was submitted 30.07.2024, approved after reviewing 26.08.2024, accepted for publication 06.09.2024.

Научная статья
УДК 614.84
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.60.34.010

Модернизация отечественных систем оповещения и эвакуации

Александра Александровна Снежко^{1,2}

Любовь Георгиевна Малышевская¹

Анастасия Петровна Филкова¹

Егор Евгеньевич Ольхин¹

¹Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

²Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф.

Решетнева, Красноярск, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-1885-5747>

*Автор ответственный за переписку: Александра Александровна Снежко,
golenkova.aleksa@mail.ru*

Аннотация. Проблема пожарной безопасности является актуальной задачей для всех объектов, но особенно остро стоит вопрос защиты зданий и сооружений с массовым пребыванием людей. Статистические данные подчеркивают необходимость поиска новых средств и решений. В работе обсуждаются эффективные средства для оповещения и эвакуации. Предлагается ввести новые системы эвакуации, которые позволят эвакуировать большее количество людей и минимизировать количество погибших. Решается проблема отсутствия подсветки на эвакуационных путях, их слабая видимость в задымленном пространстве. Рассматриваются варианты автономных систем оповещения, включая решения, основанные на сотовой связи или независимых радиоканалах. Проведен сравнительный анализ перспективных систем эвакуации. Модернизация систем эвакуации может быть реализована посредством моделирования, подробно рассмотрены программные средства, реализующие автоматизированный расчет эвакуации в соответствии с индивидуально-поточной моделью, в которой определяется плотность потоков людей на эвакуационных маршрутах и оцениваются пропускные способности выходов. Одной из программ, позволяющих проводить такие расчеты, является Pathfinder, которая вместе с программой Pyrosim входит в состав программного комплекса Firecat. Модель движения людей, реализованная в Pathfinder, соответствует упомянутой выше методике. Программа Pathfinder позволяет использовать для 3d моделирования эвакуации геометрию здания, созданную в Pyrosim с целью моделирования пожара, что представляется эффективным и целесообразным при решении задачи моделирования эвакуации, в том числе для зданий со сложной планировкой.

Ключевые слова: пожарная безопасность, статистика, эвакуация, эвакуационный выход, оповещение

Для цитирования: Снежко А.А., Малышевская Л.Г., Филкова А.П., Ольхин Е.Е. Модернизация отечественных систем оповещения и эвакуации // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 128-135. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.60.34.010>.

Original article

MODERNIZATION OF DOMESTIC WARNING AND EVACUATION SYSTEMS

Alexandra A. Snezhko^{1,2}

*Lyubov G. Malyshevskaya*¹

*Anastasia P. Filkova*¹

*Egor E. Olkhin*¹

¹*Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia*

²*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia,*

<https://orcid.org/0000-0003-1885-5747>

Corresponding author: *Alexandra A. Snezhko, golenkova.aleksa@mail.ru*

Abstract. The problem of fire safety is an urgent task for all facilities, but the issue of protecting buildings and structures with a mass stay of people is especially acute, Statistical data emphasize the need to find new tools and solutions. The paper discusses effective means for notification and evacuation. It is proposed to introduce new evacuation systems that will allow the evacuation of more people and minimize the number of deaths. The problem of the lack of illumination on the escape routes, their poor visibility in a smoky space, is being solved. Options for autonomous warning systems are being considered, including solutions based on cellular communications or independent radio channels. A comparative analysis of promising evacuation systems has been carried out. Modernization of evacuation systems can be implemented through modeling, software tools that implement automated evacuation calculation in accordance with an individual flow model are considered in detail, in which the density of human flows on evacuation routes is determined and the throughput of exits is estimated. One of the programs that allows such calculations is Pathfinder, which, together with the Pyrosim program, is part of the Firecat software package. The human movement model implemented in Pathfinder corresponds to the above-mentioned methodology. The Pathfinder program allows you to use the building geometry created in Pyrosim for fire modeling for 3d evacuation modeling, which seems effective and appropriate when solving the problem of evacuation modeling, including for buildings with complex layouts.

Keywords: fire safety, statistics, evacuation, evacuation exit, notification

For citation: Snezhko A.A., Malyshevskaya L.G., Filkova A.P., Olkhin E.E. Modernization of domestic warning and evacuation systems // Siberian fire and Rescue Bulletin. 2024. №. 3 (34). pp. 128-135. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.60.34.010>.

Примерно каждый час в России кто-то погибает от пожара. В 2023 году пожарно-спасательные подразделения реагировали на более чем 350 тысяч пожаров, в которых погибло порядка 7,2 тысяч человек. Ещё больше – 8,2 тысячи – получили травмы.

Хоть смертность от огня и дыма падает с 2005 года, она всё еще остаётся выше в 2,5 раза, чем в среднем мире, а Россия занимает первые позиции по этому показателю в Европе (Рис.1).

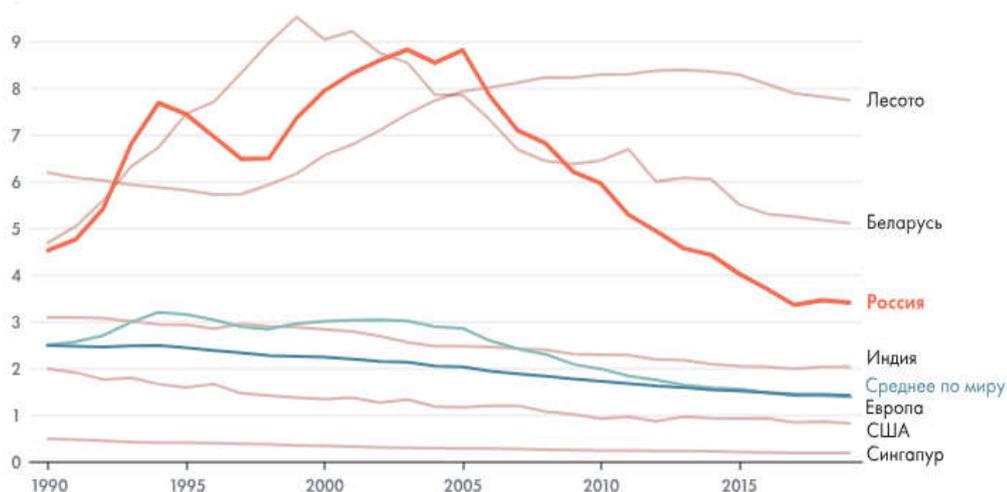


Рис.1. – Количество погибших на 100 тысяч человек

Около трети пострадавших погибли из-за проблем с эвакуацией из здания [1,2], что приводило к отравлению угарным и отравляющими газами. По статистике большинство людей гибнут как раз не от огня, а задыхаются токсичными продуктами горения. По данным МЧС России 40% смертей в пожарах в России в 2022 году случилось по этой причине. Это происходит в первые 3...4 минуты пожара.

Для решения данной проблемы предлагается ввести новые системы эвакуации, которые позволят эвакуировать большее количество и минимизировать количество погибших.

С 01.05.2009 г. требования к системам оповещения и управления эвакуацией людей (СОУЭ) при пожаре регулируются Сводом правил СПЗ.13130.2009, разработанным в развитие требований Федерального закона от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Согласно данным правилам, звуковые и световые оповещатели СОУЭ должны:

- обеспечивать определённый уровень звука в соответствии с типом и назначением защищаемого помещения;
- располагаться в установленном правилами месте на определённом уровне от пола и потолка;
- в помещениях с повышенным уровнем шума комбинироваться со звуковыми сигнализаторами;
- включаться одновременно с основными осветительными приборами [3].

Основной проблемой при эвакуации являются отсутствие подсветки на эвакуационных путях или их слабая видимость в задымленном пространстве. Для решения данной проблемы необходимо развитие световых и звуковых сигнализаторов при пожаре [4].

В качестве световых сигнализаторов предлагается использовать точечные лампы, расположенные на полу в одну-две линии (Рис.2). Основными особенностями данных оповещателей являются:

- подключение к аварийному питанию и их независимость от основных линий электропередачи, что обеспечивает их работоспособность на пожаре;
- размещение на полу, что обеспечивает их видимость в дыму;
- быстрое включение по порядку, показывающее направление движения к эвакуационному выходу.

Звуковые оповещатели имеют не менее важное значение в случае чрезвычайной ситуации, как и световые средства, особенно в задымленных помещениях. Действительно, при эвакуации люди часто ориентируются на звук, обнаруживающий наличие эвакуационного выхода.

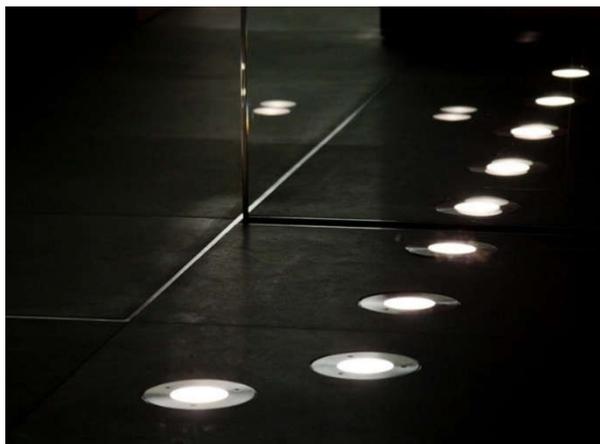


Рис.2. – Пример расположения световых оповещателей при пожаре

Обычно предлагается установка новых звуковых установок непосредственно над выходами. Главной их особенностью является стабильная подача звука, что позволяет людям ориентироваться при пожаре и двигаться к эвакуационному выходу. Случается, что и резервные источники питания могут быть отключены. Тогда, в условиях отсутствия электричества эффективным решением для автономного оповещения и звукового информирования могут выступить системы, которые не требуют традиционной установки проводов. Такие устройства удобно использовать в открытых пространствах: на улице, в парках, на пляжах, горнолыжных курортах, развлекательных комплексах и в больших помещениях, где прокладка проводов сложно реализуема или нецелесообразна. Они также идеально подходят для временных объектов, таких как стройки, а также для мероприятий на открытом воздухе, включая праздники и митинги.

Спрос на автономные системы оповещения существует уже давно, но до недавнего времени их реализация была сложной и дорогой. С развитием технологий радиосвязи и новых материалов, такие системы стали доступны по цене, близкой к традиционным проводным системам.

В доступе для эксплуатации предлагаются варианты автономных систем оповещения, включая решения, основанные на сотовой связи или независимых радиоканалах. В зависимости от потребностей, системы могут быть уличными (с учетом погодных условий) или предназначенными для внутреннего использования. Они также различаются по типу акустических излучателей: рупорные (для больших расстояний) и широкополосные (до 10 метров) [5].

Однако, не только оповещатели необходимы при обеспечении эвакуации персонала с предприятий или жильцов из зданий. Стоит сосредоточиться на развитии систем и методов эвакуации [6].

Среди перспективных систем эвакуации следует выделить Slide to Safety (далее – STS) [7]. Slide to Safety – это революционная система быстрой эвакуации, которая служит альтернативным средством эвакуации для многоэтажных зданий.

STS создана для реагирования в случае отключения электроэнергии, что является обычным событием при пожаре. Система разворачивается с использованием баллонов со сжатым воздухом и вспененного материала внутри. Горка крепится к окнам второго-четвертого этажа и оснащена телескопической лестницей внутри здания для удобства поднятия (Рис.3).

Работа осуществляется за счёт технологии активации ручки. Как только ручка будет выдернута, слайд выдвигается и надувается полностью за 6 секунд. Горка позволяет эвакуироваться до 30 человек в секунду. Данная система подойдёт для образовательных и лечебных учреждений повышенной этажности, административных зданий и торговых центров и т.п.

Однако STS подходит для зданий не выше 5 этажа и неудобна для использования маломобильным людям. В этом случае на помощь приходит Escape Rescue Evacuation System (далее – ERES) [8].

ERES представляет из себя легкий лифт со спускным устройством, находящимся на крыше здания. В случае пожара система может быть приведена в использование в течение 3 минут (Рис.4).

Кабина лифта выполнена из легкой полимерной ткани и способна вмещать до 24 человек или 4 каталок/инвалидных кресел. Благодаря прочности тросов и легкости кабины, лифт способен подниматься до 60-ого этажа.

ERES разработана в Израиле и применяется в больницах с большим количеством этажей, а также в специальных учреждениях для инвалидов. Помимо эвакуации маломобильных людей, лифт [8] может быть применён для подъема пожарных на необходимый этаж или доставки необходимого вооружения и инструмента для пожаротушения или проведения аварийно-спасательных работ.



Рис.3. – Slide to safety



Рис.4. – Escape Rescue Evacuation System

Модернизация систем эвакуации может быть реализована посредством моделирования. Каждое сооружение должно быть спроектировано с учетом объемно-планировочных решений и конструктивных характеристик маршрутов эвакуации, чтобы гарантировать безопасный выход людей в случае пожара. Если безопасная эвакуация невозможна, необходимо предусмотреть защиту людей через внедрение систем коллективной безопасности. Для оценки времени, необходимого для эвакуации различных групп людей с учетом их мобильности на общих эвакуационных путях, используются упрощенные 3D аналитические модели, индивидуально-поточные и имитационно-стохастические модели движения. Эти методы основаны на приложении № 3 к Методике (Приказ МЧС России от 30 июня 2009 года № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности»). Широкое распространение получили программные средства, реализующие автоматизированный расчет эвакуации в соответствии с индивидуально-поточной моделью, такие как Эватек, Фогард Рв, Fenix+, Урбан, Pathfinder и др. В соответствии с математической моделью индивидуально-поточного движения людей, расчетному времени эвакуации людей из помещения соответствует время выхода из него последнего человека. Для того чтобы начать моделирование необходимо задать схему эвакуационных путей в здании. Все эвакуационные пути подразделяются на эвакуационные участки длиной a и шириной b . Габариты человека принимаются за эллипс, оси которого равны ширине человека в плечах и его толщине. Ширина человека в плечах и его толщина равны 0,5 м 0,25 м соответственно. Задаются координаты каждого человека x_i – расстояние от центра эллипса до конца эвакуационного участка, на котором он находится. Если разность координат некоторых людей, находящихся на эвакуационном участке, составляет менее нормируемой, то принимается, что люди с этими координатами расположены рядом друг с другом – сбоку один от другого (условно: «в ряд»). При этом, учитывая габариты человека и размеры эвакуационного участка, для каждого

эвакуационного участка определяются: максимально возможное количество человек в одном ряду и максимально возможное количество людей на участке. Основываясь на схеме расстановки людей в помещении, задаются координаты каждого человека x_i в начальный момент времени. При отсутствии данных о расстановке людей, размещение людей производится равномерно по всей площади помещения с учетом расстановки технологического оборудования. Координата каждого человека в момент времени t определяется по формуле:

$$x_i[t] = x_i[t - \Delta t] - V_i[t] \cdot \Delta t, \text{ м}$$

где: $x_i[t - \Delta t]$ – координата i -го человека в предыдущий момент времени, м; $V_i[t]$ – скорость i -го человека в момент времени t , м/с; Δt – промежуток времени, с.

Скорость i -го человека $V_i[t]$ в момент времени t определяется в зависимости от локальной плотности потока, в котором он движется $D_i[t]$ и типа эвакуационного участка. Если в момент времени t координата человека $x_i[t]$, станет отрицательной, то человек достиг границы текущего эвакуационного участка и должен перейти на следующий эвакуационный участок. В этом случае координата этого человека на следующем эвакуационном участке определяется:

$$x_i[t] = \{x_i[t - dt] - V_i[t] \cdot dt\} + a_j - l_j, \text{ м}$$

где: $x_i(t - dt)$ – координата i -го человека в предыдущий момент времени на $(j-1)$ эвакуационном участке, м; $V_i(t)$ – скорость i -го человека на $(j-1)$ -ом эвакуационном участке в момент времени t , м/с; a_j – длина i -го эвакуационного участка, м; l_j – координата места слияния i -го и $(j-1)$ -го эвакуационных участков – расстояние от начала j -го эвакуационного участка до места слияния его с $(j-1)$ -ым эвакуационным участком, м. На основании заданных начальных координат людей и параметров эвакуационных участков определяются плотности людских потоков на путях эвакуации и пропускные способности выходов с эвакуационных участков. Затем, в момент $t + dt$, происходит выбор направления движения для каждого участника, что позволяет вычислить их новые координаты. После этого снова определяется плотность потоков людей на эвакуационных маршрутах, и оцениваются пропускные способности выходов. Следующим шагом добавляется временной промежуток dt , после чего заново вычисляются координаты людей, учитывая присутствие опасных факторов, связанных с пожаром, на путях эвакуации в текущий момент. Этот процесс повторяется до полного завершения эвакуации всех людей из здания. Одной из программ, позволяющих проводить такие расчеты, является Pathfinder, которая вместе с программой Pygosim входит в состав программного комплекса Firecat. Модель движения людей, реализованная в Pathfinder, соответствует упомянутой выше методике.

Программа Pathfinder позволяет использовать для 3d моделирования эвакуации геометрию здания, созданную в Pygosim с целью моделирования пожара, что представляется эффективным и целесообразным при решении задачи моделирования эвакуации. В данной программе есть возможность смоделировать здание со сложной планировкой, расположить в любом квадрате и проанализировать развитие пожара.

Выводы

1. В качестве эффективного решения для автономного оповещения и звукового информирования могут быть предложены – доступные по цене системы, не требующие традиционной установки проводов, что особенно актуально в условиях отсутствия электричества.

2. Системы эвакуации в России технически отстают от европейских или азиатских аналогов и требуют модернизации, которая позволит снизить количество погибших и пострадавших при пожаре.

3. Системы STS и ERES являются недорогими в установке и использовании устройствами, которые абсолютно не требуют электричества для использования и позволяют в короткие сроки провести полную эвакуацию даже из самых труднодоступных помещений.

4. Новые перспективы для модернизации эвакуационных систем открывает программа Pathfinder, позволяющая произвести 3d моделирование процесса эвакуации на основе проекта геометрии здания, выполненного в Pyrosim с целью прогнозирования распространения пожара.

Список источников

1. Мокшанцев А.В., Ильчевская Р.Р., Ильчевский В.С. Анализ статистики пожаров на объектах ФГКУ «Специальное управление ФПС № 3 МЧС России» / Академия Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2023. – С. 19-22.
2. Гайзетдинова А.М., Аксенов С.Г. Анализ статистики пожаров на промышленных предприятиях / ФГБОУ ВО Уфимский Университет Науки и Технологий. – 2023. – С. 163-167.
3. ГОСТ Р 59638-2021 «Национальный стандарт Российской Федерации. Системы пожарной сигнализации. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность» // справочно-правовая система «КонсультантПлюс»: сайт. – URL: <https://takir.ru/wp-content/uploads/2022/04/gost-r-59638-2021-sistemy-pozharnoj-signalizacii.pdf> (дата обращения 25.08.2024).
4. ГОСТ 59639-2021 «Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность» // справочно-правовая система «КонсультантПлюс»: сайт. – URL: <https://takir.ru/wp-content/uploads/2022/04/gost-r-59639-2021-sistemy-opoveshhenija-i-upravlenija-jevakuaciej.pdf> (дата обращения 25.08.2024).
5. СП 3.13130.2009. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре // справочно-правовая система «МЧС Говру»: сайт. – URL: https://34.mchs.gov.ru/uploads/resource/2021-09-01/13-2-1-3-svody-pravil_16305053711445279639.pdf (дата обращения 25.08.2024).
6. Заздравных Р.В. О необходимости пересмотра системы исследований для решения проблем при эвакуации людей на пожаре / Омский государственный технический университет. – 2016. – С. 225-226.
7. Автономные системы озвучивания оповещения и трансляции экстренных объявлений (adada.ru) [Электронный ресурс]. URL: https://adada.ru/sound-avtonom_sist.php . (Дата обращения: 02.08.2024).
8. Карапузиков А.А., Ставрениди С.Ю., Кузьменко А.А., Кашеутов М.Д. К проблеме об эвакуации людей при пожарах в зданиях с массовым пребыванием людей / Николенков В.В. // The Newman in foreign policy. – 2020. – Т. 1. - №52. – С. 45-46.
9. Скользите в безопасное место. Система быстрой эвакуации. [Электронный ресурс]. URL: <https://slidetosafety.com/> (Дата обращения: 20.04.2023).
10. Аварийно-спасательная система. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.escaperescue.com/> (Дата обращения: 22.04.2023).

References

1. Mokshantsev A.V., Ilchevskaya R.R., Ilchevsky V.S. Analysis of fire statistics at the facilities of FGKU "Special FPS Department №. 3 of the Ministry of Emergency Situations of Russia / Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. – 2023. – pp. 19-22.
2. Gaizetdinova A.M., Aksenov S.G. Analysis of fire statistics at industrial enterprises / Ufa University of Science and Technology. – 2023. – pp. 163-167.
3. GOST R 59638-2021 "National standard of the Russian Federation. Fire alarm systems. Guide to design, installation, maintenance and repair. Performance testing methods" // reference and legal system "ConsultantPlus": website. – URL: <https://takir.ru/wp-content/uploads/2022/04/gost-r-59638-2021-sistemy-pozharnoj-signalizacii.pdf> (accessed 08/25/2024).
4. GOST 59639-2021 "Fire warning and evacuation control systems. Guide to design, installation, maintenance and repair. Performance testing methods" // reference and legal system "ConsultantPlus": website. – URL: <https://takir.ru/wp-content/uploads/2022/04/gost-r-59639-2021-sistemy-opoveshhenija-i-upravlenija-jevakuaciej.pdf> (accessed 08.25.2024).

5. SP 3.13130.2009. Code of Practice. Fire protection systems. Fire warning and evacuation management system // reference and legal system "EMERCOM Govru": website. – URL: https://34.mchs.gov.ru/uploads/resource/2021-09-01/13-2-1-3-svodypravil_163050537_11445279639.pdf (accessed 08.25.2024).
6. Zazdravnykh R.V. On the need to review the research system to solve problems during the evacuation of people in a fire / Omsk State Technical University. - 2016. – pp. 225-226.
7. Autonomous systems for voicing alerts and broadcasting emergency announcements (adada.ru) [Electronic resource]. URL: https://adada.ru/sound-avtonom_sist.php. (Date of application: 08.02.2024).
8. Karapuzikov A.A., Stavrinidi S.Yu., Kuzmenko A.A., Kasheutov M.D. On the problem of evacuation of people in case of fires in buildings with mass stay of people / Nikolenkov V.V. // The Newman in foreign policy. – 2020. – Vol. 1. - №.52. – pp. 45-46.
9. Slide To Safety. Rapid evacuation system. [Электронный ресурс]. URL: <https://slidetosafety.com/> (Дата обращения: 20.04.2023).
10. The escape rescue system. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.escaperescue.com/> (Дата обращения: 22.04.2023).

Информация об авторах

А.А. Снежко - кандидат технических наук

Information about the author

A.A. Snezhko - Ph.D. of Engineering Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.07.2024, одобрена после рецензирования 26.08.2024, принята к публикации 06.09.2024.

The article was submitted 30.07.2024, approved after reviewing 26.08.2024, accepted for publication 06.09.2024.

Пожарная безопасность (2.10.1. технические науки)

Научная статья
УДК 662.612.16
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.14.59.011

Исследование воспламеняющей способности фрикционных искр

Евгений Юрьевич Трояк

Ирина Николаевна Пожаркова

Александр Александрович Богданов

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

Автор ответственный за переписку: Евгений Юрьевич Трояк, troyakeu@sibpsa.24.mchs.gov.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные теоретические положения в области воспламеняющей способности фрикционных искр, выявлена и обобщена информация по результатам исследований, ученных в вышеуказанной области. Рассмотрена конструкция лабораторной установки для исследования воспламеняющей способности фрикционных искр, дана характеристика ее основных узлов. Описана методика проведения натурального эксперимента по определению воспламеняющей способности искр, а также указаны основные свойства горючих материалов, использующихся в эксперименте. Приведены результаты экспериментов по исследованию воспламеняющей способности фрикционных искр. Проведены расчеты конечной температуры и количества тепла, отдаваемой искрой. Выявлена зависимость времени зажигания горючих веществ и материалов от расстояния до источника образования фрикционных искр. Доказано, что, исходя из полученных данных, зависимость времени воспламенения исследуемых веществ и материалов от расстояния до источника образования фрикционных искр (в условиях эксперимента) носит линейный характер. Определено, что большее влияние на результаты воспламенения легковоспламеняющихся жидкостей оказывает не температура вспышки, а температура кипения жидкости, что приводит к более интенсивному его испарению и образованию концентрации паров над поверхностью, превышающей нижний концентрационный предел распространения пламени.

Ключевые слова: фрикционные искры, воспламеняющая способность, конечная температура искры, минимальная энергия зажигания

Для цитирования: Трояк Е.Ю., Пожаркова И.Н., Богданов А.А. Исследование воспламеняющей способности фрикционных искр // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 136-145. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.14.59.011>.

Original article

INVESTIGATION OF THE IGNITING ABILITY OF FRICTION SPARKS

Evgeniy Yu. Troyak

Irina N. Pozharkova

Alexander A. Bogdanov

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia
Corresponding author: Evgeniy Yu. Troyak, troyakeu@sibpsa.24.mchs.gov.ru

Abstract. The article discusses the main theoretical principles in the field of the igniting ability of friction sparks, identifies and summarizes information based on the results of research by scientists in the above area. The design of a laboratory installation for studying the flammable ability of friction sparks is considered, and the characteristics of its main components are given. The technique of conducting a full-scale experiment to determine the flammable ability of sparks is described, and the main properties of combustible materials used in the experiment are indicated. The results of experiments on the study of the flammable ability of friction sparks are presented. Calculations of the final temperature and the amount of heat given off by the spark are carried out. The dependence of the ignition time of combustible substances and materials on the distance to the source of the formation of friction sparks has been revealed. It is proved that, based on the data obtained, the dependence of the ignition time of the studied substances and materials on the distance to the source of the formation of friction sparks (under experimental conditions) is linear. It is determined that the greater influence on the results of ignition of flammable liquids is exerted not by the flash point, but by the boiling point of the liquid, which leads to its more intense evaporation and the formation of a vapor concentration above the surface exceeding the lower concentration limit of flame propagation.

Keywords: friction sparks, flammability, final spark temperature, minimum ignition energy

For citation: Troyak E.Y., Pozharkova N.P., Bogdanov A.A. Investigation of the igniting ability of friction sparks // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 3 (34). С. 136-145. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.14.59.011>.

Актуальность исследования фрикционных искр как источника зажигания обусловлена растущим числом случаев пожаров и взрывов, связанных с этим явлением. Согласно статистическим данным, пожары, обусловленные нарушением производства огневых и других пожароопасных работ, ежегодно приводят к гибели людей и значительному материальному ущербу [1]. При этом, как указано в [2], до 25 % подобных пожаров составляют, вызванные фрикционными искрами.

Изучение фрикционных искр и разработка способов предотвращения загорания от них является актуальной задачей с точки зрения обеспечения безопасности технологических процессов [3]. Теоретические положения искрового зажигания изложены в трудах Зельдовича Я.Б., Симонова Н. Н., Вилюнова В.Н. и др. Результаты экспериментальных исследований воспламеняющей способности искр описаны в работах Моисеевой К.Н., Щебеко А.Ю., Голов Н. и др. [4-10].

Целью исследования, результаты которого представлены в данном материале, является определение воспламеняющей способности фрикционных искр при варьировании вида горючей нагрузки и расстояния от источника. Для проведения соответствующих натуральных экспериментов была разработана лабораторная установка, общий вид которой и принцип работы описаны ниже.

Фрикционные искры возникают в результате трения или ударов по металлическим предметам. Эти искры представляют собой металлические частицы, имеющие форму опилок с рваной поверхностью и острыми гранями.

Исследования [7] показали, что размеры фрикционных искр варьируются от 0,1 до 0,6 мм, в зависимости от твердости и структурного строения взаимодействующих материалов. При этом размер частиц прямо пропорционален твердости искрообразующего материала.

В случае соударения металлов и сплавов максимальный размер частиц значительно превышает размеры, получаемые при трении. В некоторых случаях они могут достигать 0,9 мм [7].

Температура фрикционных искр чаще не превышает температуры плавления материала. Так, механическая искра с поверхности медно-никелевого сплава может иметь максимальную

температуру 300°C и оставаться не раскалённой, в то время как фрикционная искра от инструментальной стали может достигать температуры 1500°C, то есть превышающей температуру плавления [7].

Воспламеняющая способность фрикционных искр представляет собой ключевую характеристику, которая определяет их потенциал инициировать горение различных веществ. Эта способность обусловлена рядом факторов, включая плотность теплового потока от искры, длительность контакта, химический состав окружающей среды, температуру и свойства воспламеняемого материала.

Особенно опасным считается сочетание удара и трения, поскольку такая комбинация может значительно увеличивать количество фрикционных искр и их температуру [7,9].

Наибольшей воспламеняющей способностью обладают механические искры, возникающие от удара и трения, при попадании в среду смесей с воздухом водорода, ацетилена, этилена, сероуглерода и др. Однако, соударение медных сплавов со сталью не вызывает образования искр, способных поджечь газо- и паровоздушные смеси [7,9].

Установка, использованная для исследования фрикционных искр, включает подвижный абразивный диск и стационарно закрепленную металлическую пластину, которые образуют пару трения (Рис.1).



Рис.1. Общий вид лабораторной установки для исследования фрикционных искр где: 1 - основание, 2 - выключатель, 3 - рулетка, 4 - штанга с держателем образца, 5 - провод для подключения к электрической сети, 6 - пружина для натяжения штанги, 8 - абразивный диск, 9 - заменяемая металлическая пластина, 10 - фиксатор пластины, 11 - электродвигатель

В качестве горючих нагрузок при проведении экспериментов были использованы: поролон, хлопковая вата, древесные опилки (сосна), бензин АИ-95, газ (пропан-бутан), ацетон (Рис.2), пожароопасные свойства, которых принимаемые при расчетах, определялись по справочнику [11].

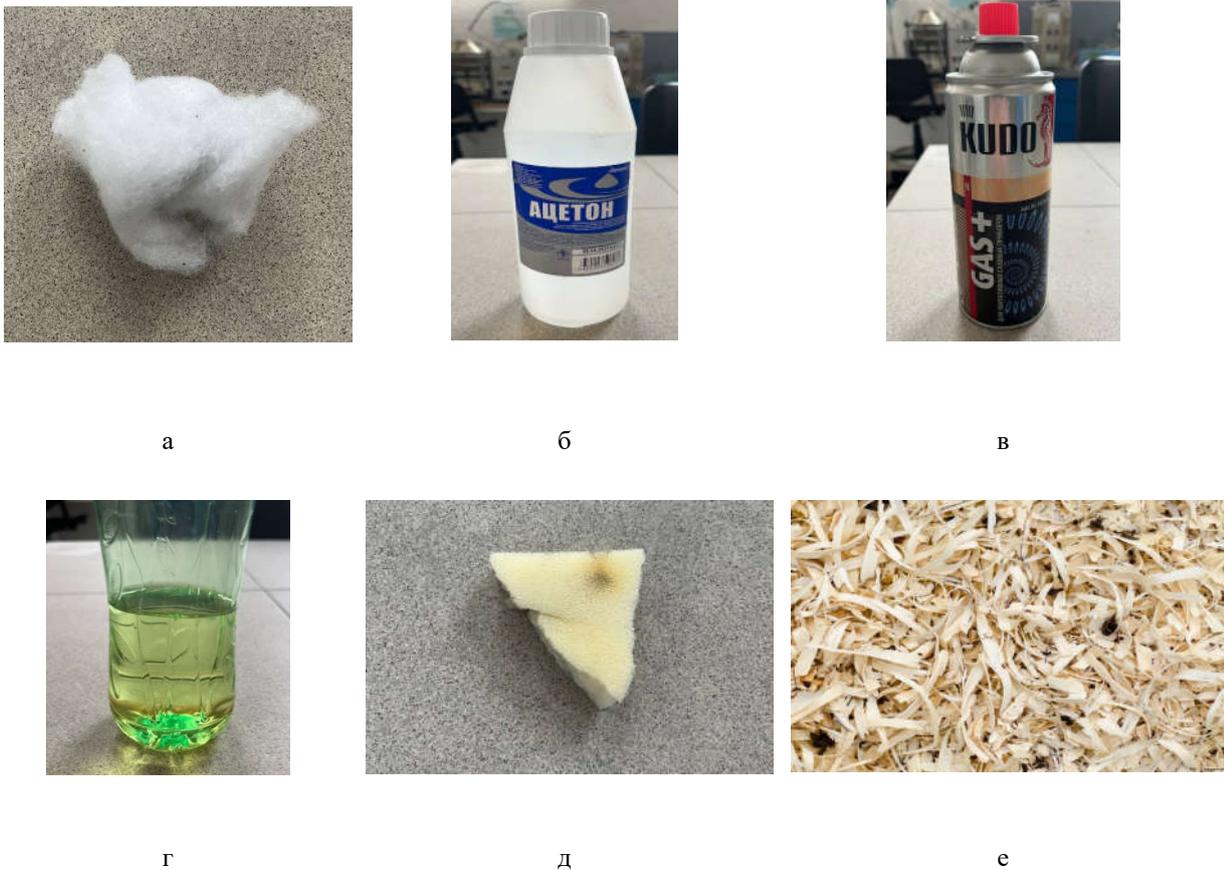


Рис.2. Горючие вещества и материалы для проведения эксперимента

В качестве подвижной части пары трения применялся диск шлифовальный марки A24RBF (Рис.3а). Диск имеет покрытие из стекловолкна, обладающего высокой прочностью благодаря использованию оксида алюминия, скрепленного искусственной смолой [12]. Металлическая пластина (Рис.3б) выполнена из стали марки 08ПС (08 – содержание углерода в стали 0,8 %; ПС – средняя степень раскисления сплава) (Табл.1).

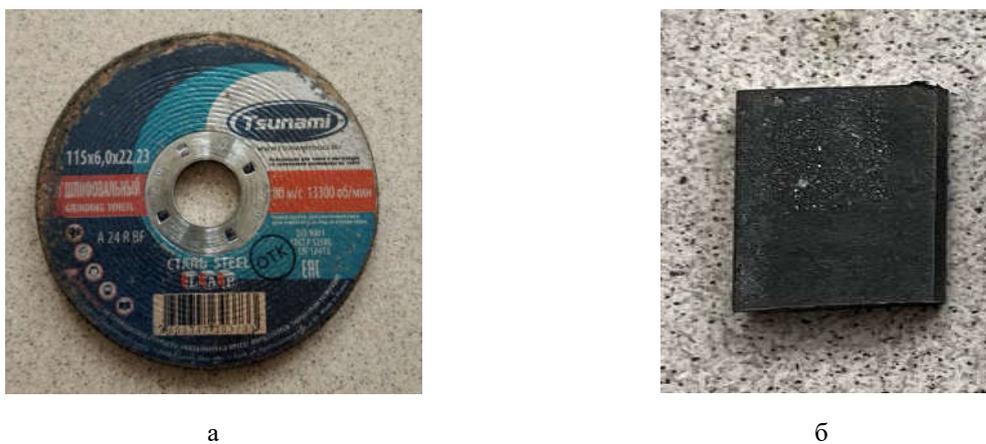


Рис.3. Элементы пары трения: а – диск шлифовальный марки A24RBF; б – сталь марки 08ПС

Табл.1. Свойства стали

Плотность	7800 кг · м ⁻³
Удельная теплоемкость при 20°С	460 Дж · кг ⁻¹ · К ⁻¹

Удельная теплоемкость расплава	678 Дж · кг ⁻¹ · К ⁻¹
Коэффициент теплопроводности	45,4 Вт · кг ⁻¹ · К ⁻¹
Температура плавления	1450°С

Эксперименты проводились при следующих параметрах среды: температура окружающей среды 22°С, влажность 55 %, атмосферное давление 735 мм.рт.ст. Образцы находились в данных условиях 72 часа перед началом экспериментов. Расстояние от источника образования искр до условного центра материала составляли 10, 20 и 30 см.

Методикой выполнения эксперимента предусматривалось размещение материала на негорючей подложке (для ЛВЖ – металлический тигель), установка на заданном расстоянии от источника образования искр. В эксперименте с пропан-бутановой смесью использовалась горелка Теклю, размещаемая таким образом, как показано на Рис.4, г. После включения установки, оператор дожидался набора электродвигателем (11) номинальных оборотов, затем обеспечивал контакт пластины (8) и абразивного диска (9). Степень нажатия регулировалась усилием на штангу (4) таким образом, чтобы не допустить падение оборотов электродвигателя. Образцы материала подвергались испытанию трижды при заданных условиях. Условием прекращения эксперимента являлось визуальное подтверждение воспламенения горючей нагрузки, либо его отсутствие в течении 60 с. Значения среднего времени зажигания, определенного по результатам трех экспериментов для каждого вида горючей нагрузки и расстояния до источника образования искр, приведены в Табл.2.

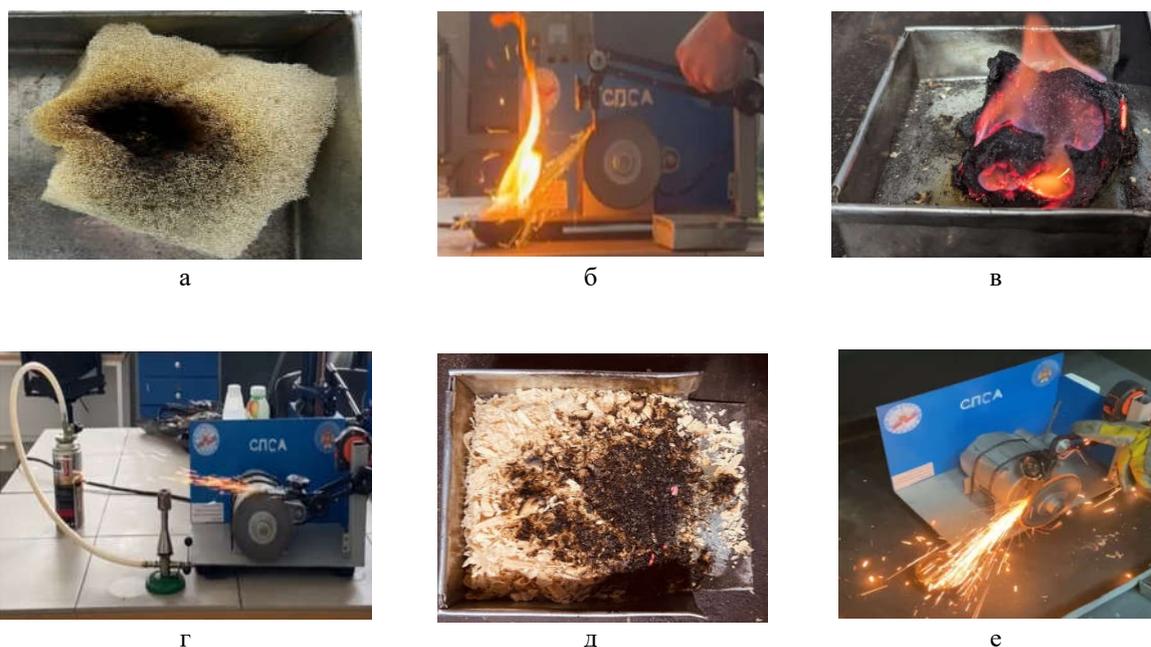


Рис.4. Иллюстрация процесса проведения эксперимента

Для теоретического обоснования полученных экспериментальных данных были выполнены расчеты количества тепла, отдаваемого частицей горючему веществу, а также конечной температуры искры в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования [14].

Время нахождения искры в расплавленном состоянии значительно больше времени полета искры, поэтому конечная температура искры определена по формуле:

$$T_{\text{кон}} = T_0 + (T_{\text{Н}} - T_0) \cdot \exp\left(-\frac{\alpha \cdot S_{\text{к}}}{C_{\text{р}} \cdot m_{\text{к}}} \cdot \tau\right)$$

где $T_{\text{кон}}$ – конечная температура частицы, К;

T_H – начальная температура частицы, К;
 T_0 – температура окружающей среды, К;
 α – коэффициент теплоотдачи, Вт, $m^2 \cdot K^{-1}$;
 S_K – площадь поверхности частицы, m^2 ;
 C_p – удельная теплоемкость расплава металла, Дж $\cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$;
 m_K – масса частицы, кг;
 τ – время с момента образования искры до попадания на поверхность материала.

Количество тепла, отдаваемое искрой твердому или жидкому горючему материалу, на который она попала, вычисляют следующим образом:

$$W = V_K \cdot \rho_K \cdot C_K \cdot (T_{кон} - T_{св}) \cdot K$$

где W – количество тепла, отдаваемое искрой твердому или жидкому горючему материалу, Дж;

V_K – объем частицы, m^3 ;
 C_K – удельная теплоемкость металла, Дж $\cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$;
 $T_{св}$ – температура самовоспламенения горючего материала, К [11];
 $T_{кон}$ – конечная температура частицы, К;

K – коэффициент, равный отношению тепла, отданного горючему веществу, к энергии, запасенной в капле; в случае невозможности определения принимается равным единице.

Аналогично определены значения $T_{кон}$ и W для остальных исследованных веществ и материалов (Табл.2).

Табл.2 – Результаты вычислений

№ эксперимента	Расстояние, см	Конечная температура искры, К	Количество тепла, отдаваемое искрой, Дж	Время зажигания, с
1-Поролон	10	1820,5	0,2508	-
	20	1818	0,2503	-
	30	1815,6	0,2497	-
2- Вата	10	1820,5	0,2680	5
	20	1818	0,2675	14
	30	1815,6	0,2668	37
3-Опилки (сосна)	10	1820,5	0,2931	23
	20	1818	0,2926	40
	30	1815,6	0,2920	59
4-Бензин (АИ-95)	10	1820,5	0,3033	-
	20	1818	0,3027	-
	30	1815,6	0,3021	-
5- Газ (пропан-бутан)	10	1820,5	0,2763	-
	20	1818	0,2757	-
	30	1815,6	0,2751	-
6-Ацетон	10	1820,5	0,2544	19
	20	1818	0,2538	27
	30	1815,6	0,2532	35

На Рис.5 представлена графическая зависимость экспериментально полученного времени зажигания от расстояния до источника искр.

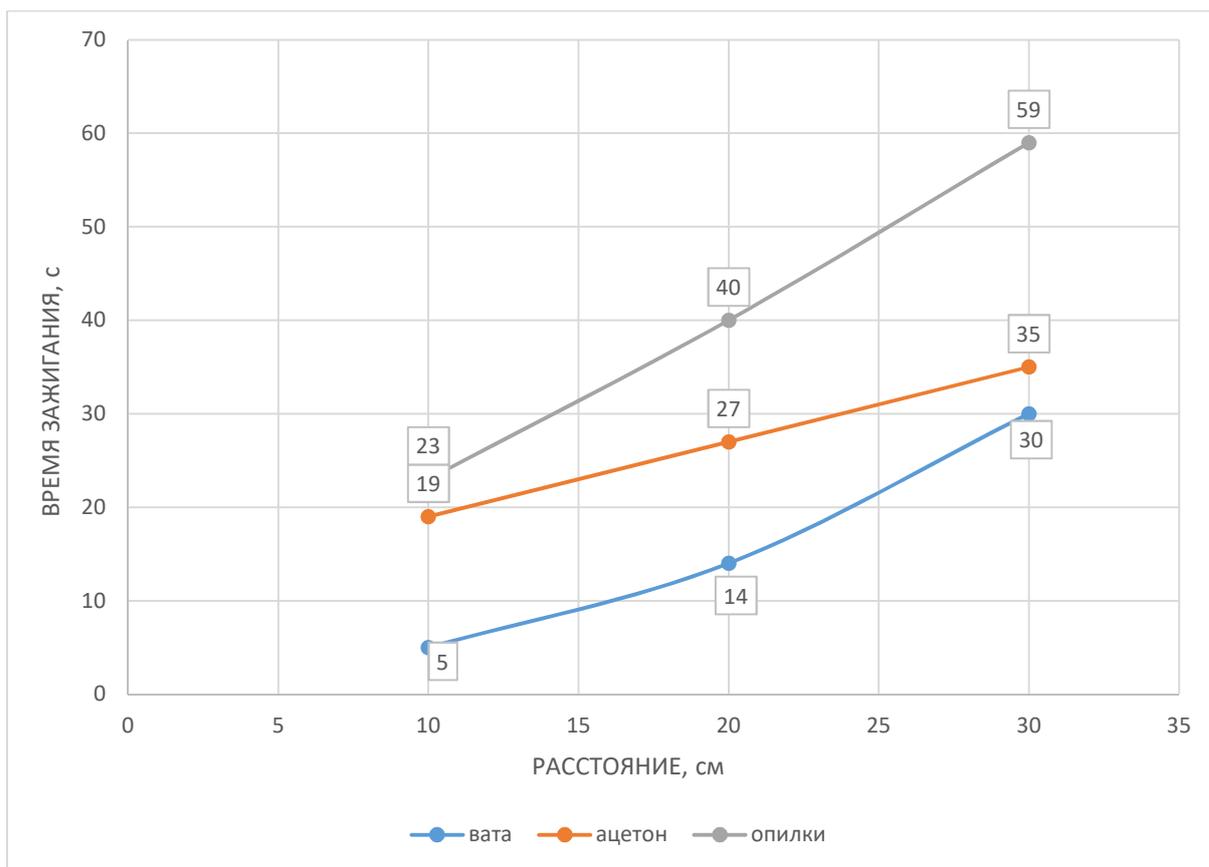


Рис.5. Зависимость времени зажигания от расстояния до источника искры

Исходя из полученных в результате экспериментов и расчетов данных, можно сделать ряд выводов:

Структура пористых и мелкодисперсных горючих материалов позволяет эффективнее поглощать тепло, выделяемое остывающей металлической частицей, так как искра может попасть не только на поверхность, но и вглубь материала. В проведенном эксперименте все три вида твердых горючих материалов относятся к тлеющим. Однако, как известно [15], в настоящее время мягкие пенополиуретаны выпускаются с добавлением составов, препятствующих тлению, что и объясняет недостаточность воспламеняющей способности искры для данного материала.

Выявлено, что энергии зажигания фрикционной искры в условиях эксперимента достаточно для воспламенения паров ацетона. Следует отметить, что, хотя температура вспышки второй исследуемой жидкости (бензина АИ-95) гораздо ниже, чем у ацетона (-39°C – бензин, -18°C – ацетон [11]), воспламенения паров бензина не происходит. Наблюдаемый эффект может объясняться тем, что в условиях эксперимента – при температуре среды 22°C большее влияние на результаты оказывает не температура вспышки, а температура кипения жидкости, которая ниже у ацетона, что приводит к более интенсивному его испарению и образованию концентрации паров над поверхностью, превышающей нижний концентрационный предел распространения пламени;

В целом, исходя из данных, отображенных на Рис.5, зависимость времени воспламенения исследуемых веществ и материалов от расстояния до источника образования фрикционных искр (в условиях эксперимента) носит линейный характер;

Отсутствие воспламенения остальных использованных в эксперименте горючих веществ и материалов может быть связано с различными причинами, выявление которых требует дополнительных исследований.

Список источников

1. Гончаренко В.С., Четина Т.А., Сибирко В.И. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году: Информационно-аналитический сборник / [и др.]. – Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. – 80 с. – EDN IKFNVG.
2. Иванов Ю.С., Яновский С.Б. Пожароопасные параметры фрикционных искр. Методы исследований. Основные проблемы // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2006. – Т.1, №1 – С. 43-47.
3. Пожаркова И.Н. Пожарная безопасность технологических процессов. Лабораторный практикум [Текст]: учебное пособие / Пожаркова И.Н., Трояк Е.Ю., Антонов А.В. – Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. – 114 с.: ил.
4. Зельдович Я.Б., Симонов Н.Н. К теории искрового воспламенения газовых взрывчатых смесей // ЖФХ. – 1949. – Т. 23. – С. 1362–1374.
5. Вилунов В.Н. Теория зажигания конденсированных веществ. – Новосибирск: Наука, 1984. – 190 с.
6. Вилунов В. Н., Некрасов Е. А., Тимохин А. М. и др. О закономерностях искрового воспламенения и выхода на стационарный режим горения // Физика горения и взрыва. – 1976. – Т.12, № 3. – С. 362–365.
7. Моисеева К.М. Искровое зажигание горючих газов и газозвесей / Моисеева К.М., Крайнов А.Ю. – Томск: Общество с ограниченной ответственностью "СТТ", 2020. – 124 с. – ISBN 978-5-93629-645-1. – EDN MGWUMN.
8. Трояк Е.Ю. Исследование искр электродуговой сварки как источника зажигания горючей среды / Трояк Е.Ю., Чернушевич Е.В., Пожаркова И.Н. // Техносферная безопасность. – 2023. – № 3(40). – С. 56-65. – EDN SBCEGC.
9. Шебеко А.Ю., Шебеко Ю.Н., Зубань А.В., Голов Н.В. Экспериментальное исследование зажигания горючих газовых смесей фрикционными искрами // Физика горения и взрыва. – 2018. – Т. 54, № 3. – С. 13-24. – DOI 10.15372/FGV20180302. – EDN XQOPFJ.
10. Шебеко А.Ю., Шебеко Ю.Н., Зубань А.В., Голов Н.В. Экспериментальное исследование зажигания парогазовых смесей искрами от удара и трения // XXIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России: Материалы конференции: В 2-х частях, Балашиха, 05 июля 2017 года. Том Часть 2. – Балашиха: Всероссийский ордена "Знак Почета" научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2017. – С. 127-130. – EDN ZFGEFT.
11. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов, и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. И до. – М.: Асс. «Пожнаука», 2004. – Ч.1. – 713 с; Ч.2. – 774 с.
12. ГОСТ Р 52588-2011. Инструмент абразивный. Требования безопасности. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=4680862> (дата обращения 10.08.2024).
13. ГОСТ 380-2005. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=4134456> (дата обращения 10.08.2024).
14. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования – URL: <https://06.mchs.gov.ru/deyatelnost/edinyu-reestr-normativnyh-pravovyh-aktov-i-normativnyh-dokumentov-po-pozharnoy-bezopasnosti/normativnye-dokumenty-posle-vstupleniya-v-silu-fz-123/gost-12-1-004-91-ssbt-pozharnaya-bezopasnost-obshchie-trebovaniya-s-izmeneniyem> (дата обращения 10.08.2024).
15. Чешко И.Д., Плотников В.Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара. Кн.1. Санкт-Петербург, СПбФ ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2010-705с.

References

1. Goncharenko V.S., Chechetina T.A., Sibirko V.I. Fires and fire safety in 2022: An information and analytical collection / [et al.]. – Balashikha: Federal State Budgetary Institution VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2023. – 80 p. – EDN IKFNVG.

2. Ivanov Yu.S., Yanovsky S.B. Fire-hazardous parameters of friction sparks. Research methods. The main problems // Emergencies: education and science. - 2006. – Т1, №. 1 – pp. 43-47.
3. Pozharkova I.N. Fire safety of technological processes. Laboratory workshop [Text]: textbook / Pozharkova I.N., Troyak E.Y., Antonov A.V. Zheleznogorsk: Siberian Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2022. 114 p.: ill.
4. Zeldovich Ya.B., Simonov N.N. On the theory of spark ignition of gas explosive mixtures // ZHFH. – 1949. – Vol. 23. – pp. 1362-1374.
5. Vilyunov V.N. Theory of ignition of condensed substances. Novosibirsk: Nauka, 1984. 190 p.
6. Vilyunov V.N., Nekrasov E.A., Timokhin A.M. et al. Gorenje i gorenje [On the laws of spark ignition and steady-state combustion]. Physics of Combustion and explosion. – 1976. – Vol. 12, №. 3. – pp. 362-365.
7. Moiseeva K.M. Spark ignition of combustible gases and gas mixtures / Moiseeva K.M., Krainov A.Yu. – Tomsk: Limited Liability Company "STT", 2020. – 124 p. – ISBN 978-5-93629-645-1. – EDN MGWUMN.
8. Troyak E.Y. Investigation of electric arc welding sparks as a source of ignition of a combustible medium / Troyak E.Y., Chernushevich E.V., Pozharkova I.N. // Technosphere safety. – 2023. – № 3(40). – Pp. 56-65. – EDN CBCEGC.
9. Shebeko A.Y., Shebeko Yu.N., Zuban A.V., Golov N.V. Experimental investigation of ignition of combustible gas mixtures by friction sparks // Physics of gorenje i explosion. - 2018. – Vol. 54, №. 3. – pp. 13-24. – DOI 10.15372/FGV20180302. – EDN XQOPFJ.
10. Shebeko A.Yu., Shebeko Yu.N., Zuban A.V., Golov N.V. Experimental study of ignition of steam-gas mixtures by sparks from impact and friction // XXIX International Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of the Federal State Budgetary Institution VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia: Conference materials: In 2 parts, Balashikha, 05 July 2017. Volume Part 2. – Balashikha: All-Russian Order of the Badge of Honor Scientific Research Institute of Fire Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, 2017. – pp. 127-130. – EDN ZFGEFT.
11. Korolchenko A.Ya., Korolchenko D.A. Fire and explosion hazard of substances and materials and means of extinguishing them. Reference book: in 2 hours – 2nd ed., reprint. And before. – M.: Acc. "Pozhnauka", 2004. – Part I. – 713 p.; Part 2. – 774 p.
12. GOST 380-2005. Carbon steel of ordinary quality. Stamps. [electronic resource]. – URL: <https://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=41344> (accessed on 10.08.2024).
13. GOST R 52588-2011. The tool is abrasive. Safety requirements. [electronic resource]. – URL: <https://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=4680862> (accessed on 10.08.2024).
14. GOST 12.1.004-91 System of occupational safety standards. Fire safety. General requirements // URL: <https://06.mchs.gov.ru/deyatelnost/edinyy-reestr-normativnyh-pravovyh-aktov-i-normativnyh-dokumentov-po-pozharnoy-bezopasnosti/normativnye-dokumenty-posle-vstupleniya-v-silu-fz-123/gost-12-1-004-91-ssbt-pozharnaya-bezopasnost-obshchie-trebovaniya-s-izmeneniyem> (accessed 10.08.2024).
15. Cheshko I.D., Plotnikov V.G. Analysis of expert versions of fire occurrence. Book 1. St. Petersburg, SPbF Federal State University VNIPO EMERCOM of Russia, 2010.-705с.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.07.2024, одобрена после рецензирования 26.08.2024, принята к публикации 06.09.2024.

The article was submitted 30.07.2024, approved after reviewing 26.08.2024, accepted for publication 06.09.2024.

Научная статья
УДК 614.842.612
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.25.24.012

Научные основы поиска технических решений дальних водяных струй

Сергей Петрович Амельчугов

Алексей Николаевич Батуро

Николай Викторович Мартинович

Юлия Николаевна Коваль

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия,

Автор ответственный за переписку: Сергей Петрович Амельчугов, asp-911@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема подачи воды на пожарах компактными струями. Дальность подачи воды пожарным стволом является ключевым фактором при тушении крупных пожаров, а также пожаров с высокой интенсивностью теплового излучения и возможными взрывами. В таких условиях важно обеспечить максимальную эффективность и дальность подачи воды и тем самым безопасность работы пожарных. Предложен новый способ расчета технических характеристик насадка пожарного ствола, позволяющий улучшить параметры подачи воды. Приведены результаты экспериментов, которые подтверждают эффективность предложенного метода. Для повышения дальности полета струи из насадка пожарного ствола его необходимо проектировать с таким условием, чтобы число Рейнольдса по длине насадка изменялось равномерно. Экспериментально установлена оптимальная длина конической части насадка для обеспечения максимальной дальности струи. Установлено, что для стволов с большим расходом, необходимо многослойное внутреннее тело. Предложено решение в виде насадка представляющего из себя конфузور с внутренними конфузорами расчетного профиля по сечению.

Ключевые слова: осмотр места пожара, нормативная пожарно-техническая экспертиза, требование пожарной безопасности, анализ

Для цитирования: Амельчугов С.П., Батуро А.Н., Мартинович Н.В., Коваль Ю.Н. Научные основы поиска технических решений дальних водяных струй // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 146-153. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.25.24.012>.

Original article

SCIENTIFIC FOUNDATIONS OF THE SEARCH FOR TECHNICAL SOLUTIONS FOR LONG-RANGE WATER JETS

Sergey P. Amelchugov

Alexey N. Batur

Nikolai V. Martinovich

Yulia N. Koval

Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

Corresponding author: Sergey P. Amelchugov, asp-911@yandex.ru

Abstract. The article addresses the issue of water delivery during firefighting operations using compact jets. The range of water delivery from a fire hose is a key factor in extinguishing large fires, as well as in situations involving high thermal radiation intensity and potential explosions. Under such conditions, it is crucial to ensure maximum efficiency in water delivery, thereby enhancing the safety of firefighting personnel. A novel method for calculating the technical characteristics of fire hose nozzles is proposed, which allows for the improvement of water delivery parameters. Experimental results confirming the effectiveness of the proposed method are presented. To increase the range of the jet from the fire hose nozzle, it is necessary to design the nozzle such that the Reynolds number changes uniformly along its length. The optimal length of the conical section of the nozzle for achieving maximum jet range has been experimentally established. It has been determined that for nozzles with a high flow rate, a multi-layered internal body is required. A solution is proposed in the form of a nozzle that consists of a diffuser with internal diffusers designed with a calculated cross-sectional profile.

Keywords: fire scene inspection, regulatory fire-technical expertise, fire safety requirements, analysis

For citation: Amelchugov S.P., Baturo A.N., Martinovich N.V., Koval Yu.N. Scientific foundations of the search for technical solutions for long-range water jets // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2024. № 3 (34). С. 146-153. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.25.24.012>.

Дальность подачи воды пожарным стволом крайне существенна при тушении крупных пожаров, пожаров с высокой интенсивностью теплового излучения, а также тушения пожаров с возможными взрывами. Однако необходимость получения дальних струй важна не только в пожарном деле, компактные струи используют для гидродобычи полезных ископаемых, в сельском хозяйстве и даже для защиты судов от морских пиратов.

Полет водяной струи определяют сопротивление воздуха, угол струи относительно горизонта, скорость истечения из насадка пожарного ствола и направления внутренних струй [1-4].

При рассмотрении эти составляющих, следует обратить внимание, что дальность водяной струи зависит от компактности водяной струи, а наилучшая практическая дальность получается при угле наклона ствола примерно 30-34° [5]. Компактные струи, получаемые от комбинированных или универсальных пожарных стволов, выполненных по технологии «jet fog», очень зависимы от скорости ветра, а в ряде случаев, например, при тушении встречных лесных пожаров струя воды не долетает до кромки пожара [6], что крайне небезопасно для самих пожарных.

Поэтому в данной статье, рассмотрены скорость истечения воды из насадка пожарного ствола и направления внутренних течений сплошной водяной струи. В задачи публикации не входил обзор всего разнообразия элементов конструкций пожарных стволов обеспечивающие увеличение дальности полета сплошной водяной струи и для краткости повествования эта информация не приводится.

Как показывают исследования, при истечении жидкости из цилиндрической части насадка – sprays, максимальная скорость находится на оси sprays. У стенок sprays скорость равна нулю, т.к. частицы жидкости покрывают внутреннюю поверхность sprays тонким неподвижным слоем. От стенок sprays к ее оси скорости нарастают плавно [3]. График распределения скоростей по поперечному сечению потока представляет собой параболоид вращения, а сечение параболоида осевой плоскостью - квадратичную параболу (см. Рис.1).

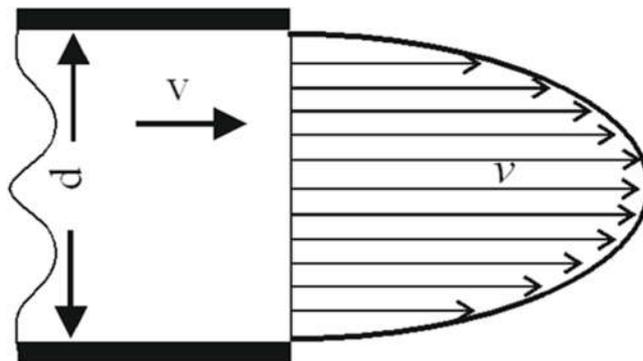


Рис.1. Схема для рассмотрения истечения потока из насадка, где d – внутренний диаметр sprыска, V – средняя скорость истечения, V – мгновенная скорость частиц воды.

Из анализа следует, что разность скоростей частиц воды при внезапном расширении приводит к разрушению компактной части струи, т.е. на выходе из sprыска насадка частицы воды, находящиеся в центре sprыска и обладающие большей скоростью, чем частицы, находящиеся на периферии, помимо осевого движения, в силу законов гидродинамики, приобретают вектор поперечного движения. Это приводит к преждевременному разрушению целостности летящей струи и кинетическая энергия струи теряется на вихреобразование. При этом наблюдается следующая зависимость, чем больше скорость, тем больше хаотичных внутренних течений на выходе из насадка, приводящей к разрушению компактной части струи.

Следовательно, для обеспечения максимальной дальности необходимо решить двуединую задачу: усреднить внутренние потоки и увеличить скорость потока воды.

Использовались следующие результаты научных исследований: известно, что критическое значение Рейнольдса для воды для цилиндрической трубы равно 2200, при кинематической вязкости пресной воды при $t=20^{\circ}\text{C}$, которая составляет около $106 \text{ м}^2/\text{с}$. Однако, исследователи [7;8], изучая вопросы гидродинамики подводного крыла и аэродинамики крыла, движущегося над границей раздела установили, что около передней поверхности крыла Рейнольдс составляет 10000, а для судов и их моделей характерны более высокие числа Рейнольдса ($Re - 1010$ — суда; $Re - 107$ — модели).

Таким образом, если рассматривать физическую природу Re , то она напрямую связана кинематической вязкостью воды. Предположено, что в насадке, вследствие сжатия струи происходит снижение вязкости воды. Т.е. часть кинетической энергии движения воды, задаваемой насосом, идет на преодоление внутреннего трения, а, следовательно, тангенциальной вязкости – оказывающей сопротивление сдвигающему усилию. Таким образом, физический смысл уравнения Рейнольдса сводится к характеристикам молекулярного взаимодействия жидкости. При формировании струи в насадке пожарного ствола происходит её сжатие и увеличение скоростного давления, которое приводит к изменению вязкости и критического значения Рейнольдса.

Поэтому, следует ожидать, что при определенных условиях возможно обеспечить квазиламинарное движение воды по всей длине насадка пожарного ствола. Этими условиями является устройство насадка, при котором его геометрия изменяется таким образом, что критерий Re изменяется равномерно. Предложен насадок пожарного ствола равноускоренного значения критерия Рейнольдса, при этом принимается, что ламинарное течение воды характеризуется критическим значением.

Однако изменение числа Рейнольдса при изменении кинетического давления мало исследовано, по крайней мере, в открытых источниках. Поэтому рассмотрено изменение потока воды при сжатии в насадке пожарного ствола.

Принимается, что критерий Рейнольдса характеризуется уравнением 1,

$$Re = V/dv \quad (1)$$

где:

V – характерная скорость, м/с

d – внутренний диаметр трубы, м

v – кинематическая вязкость м²/с

Критическое значение Рейнольдса для воды для цилиндрической трубы равно 2200, а кинематическая вязкость пресной воды при $t=20^{\circ}\text{C}$ составляет примерно 106 м²/с. Предполагается, что в насадке пожарного ствола с равномерным изменением числа Рейнольдса, оно меняется с 2200 на входе до 10000 на выходе.

Скорость потока воды в насадке пожарного ствола определяется из формулы 2,

$$V = 0,25 \cdot 10^{-6} Q / d^2 \quad (2)$$

где:

Q – расход, м³/с;

d – внутренний диаметр насадка, м.

Таким образом, для пожарного ствола изменение числа Рейнольдса следует из зависимости 3,

$$Re = 7,85 \cdot 10^{-5} d^3 \cdot Q \quad (3)$$

Следует обратить внимание, что физическая характеристика сплошности потока определяется кубичной зависимостью от диаметра. Известно, что в практике производства пожарных стволов применяются конические насадки с одномерным изменением формы насадка или эвольвентным с двумерным изменением формы насадка. Однако из формулы 3 следует, что необходимо трехмерное изменение формы насадка.

Поэтому разработан насадок пожарного ствола с внутренним обтекателем. В целях минимизации затрат на производство, насадок пожарного ствола имеет коническую часть 12° и обтекатель в соответствии формулы 4 в зависимости от расчетного расхода.

$$Q = Re / 7,85 \cdot 10^{-5} d^3 \quad (4)$$

Проведены экспериментальные исследования насадков стволов с производительностью до 45 м³/ч (12,5 л/с). Схема насадка представлена на Рис.2. Длина конической части L составляла 120 мм, длина sprыска $L_c = 20$ мм, длина цилиндрической части на входе (трубы) $L_t = 20$ мм, диаметр струи на входе $D_t = 65$ мм, диаметр струи на выходе $D_c = 22$ мм.

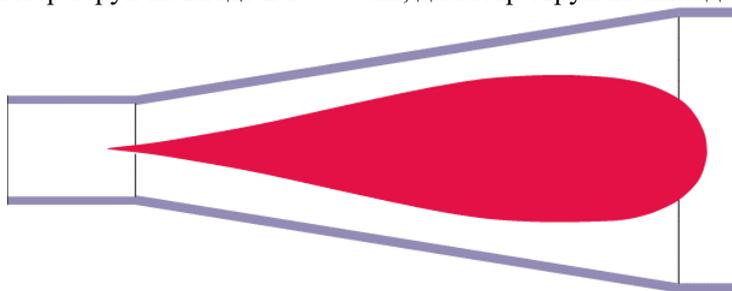


Рис.2. Схема насадка с равноускоренным числом Рейнольдса.

Наилучшую дальность показал насадок с внутренним телом близким к профилю NASA-2212, дальность полета струи (по крайним каплям) составила 62 м, при давлении 6 атм и расходе 43 м³/ч (12 л/с).

На основании экспериментов получено оптимальное изменение средней скорости движения потока в насадке (см. Рис.3).

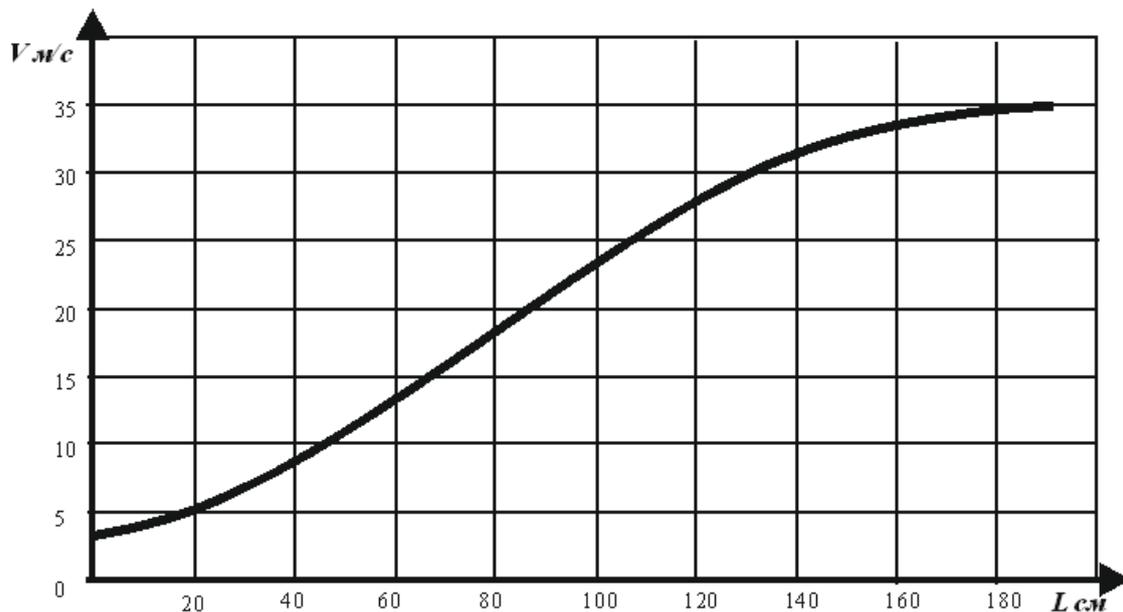


Рис.3. График изменения скорости потока по длине насадка с равноускоренным числом Рейнольдса

Таким образом, на основе экспериментов установлена оптимальная длина конической части. Так, для насадка с входящим диаметром 66 мм и выходным отверстием диаметром 22 мм оптимальная длина конической части составляет 120 мм.

Выявление области уменьшения скорости центральных частиц потока воды определялось изменением шероховатости и/или введением продольных полос и уменьшением кольцевого пространства.

Экспериментально установлено, что увеличение шероховатости и продольные полосы на внутреннем теле при малых скоростях потока приводят к увеличению дальности струй, однако по достижению критических скоростей в потоке возникают турбулентные течения, и струя распадается.

Установлено, что небольшое вихреобразование и отрыв потока от стенки с одновременным сжатием потока возникает лишь на выходе из конфузора [9] в месте соединения конической трубы с цилиндрической. Для создания лучших условий для формирования сплошной струи внутреннюю часть поверхности входа конуса в цилиндр следует профилировать [10-12].

Для выравнивания струйных потоков на выходе из насадка необходим спрыск – цилиндр длиной не менее 2-3 d . Однако, истечение воды из насадка зависит от характера изменения скорости в пограничном слое. Поэтому дополнительным техническим решением является формирование двухфазного потока (вода-воздух) в пограничном слое. Для этого внутренний диаметр спрыска должен быть на 1,5-2,4 мм больше выходного отверстия насадка, как представлено на рис. 5. Наружная часть насадка заканчивается реданом, с углом 60 градусов. Таким образом, струя выходящая из насадка доформируется внутри спрыска, при этом за счет эжекции воздуха на внутренней поверхности спрыска образуется 2-х фазный поток, благоприятно сказывающийся на трении потока воды о стенки спрыска

Также спрыск обеспечивает защиту внутреннего тела от механических воздействий (Рис.4).

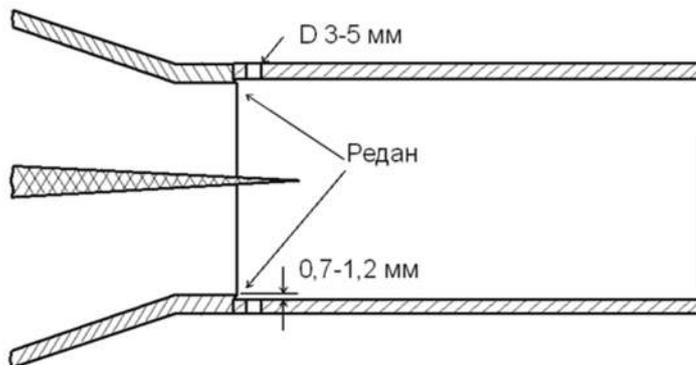


Рис.4. Схема срыва.

Результатом исследования стало получение насадка пожарного ствола, компактная струя которого усреднена (см. Рис.5) по сплошности квазиламинарного потока, при этом скорость этого потока на выходе из насадка увеличилась. Характерным свойством данного потока явилась прозрачность получаемой струи.

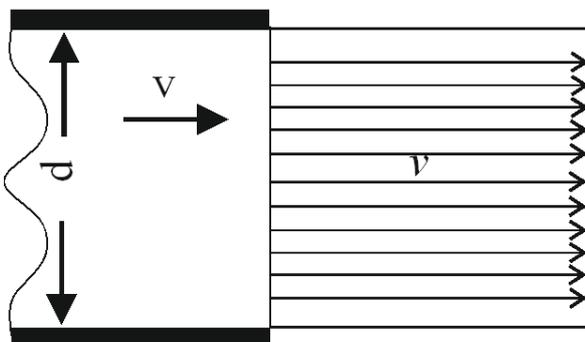


Рис.5. Схема для рассмотрения истечения потока из насадка с равноускоренным числом Рейнольдса, где d – внутренний диаметр срыва, v – средняя скорость истечения, V – мгновенная скорость частиц воды.

Таким образом, задача получения компактной струи, сохраняющей сплошность в полете на расстояние более чем в 1,5 раза превышающее показатели лучших представителей пожарных стволов решена.

Вывод

Для повышения дальности полета струи из насадка пожарного ствола его необходимо проектировать с таким условием, чтобы число Рейнольдса по длине насадка изменялось равномерно.

Для стволов с большим расходом, необходимо многослойное внутреннее тело. Ожидается, что насадок большой дальности водяной струи будет представлять конфузор с внутренними конфузорами расчетного профиля по сечению.

Список источников

1. Степанов В.И., Варганов В.А. Анализ условий подвода огнетушащего вещества к насадку лафетного ствола // Пожарная техника, средства и способы пожаротушения. - М.: ВНИИПО, 1992. -с. 31-35.
2. Иванов Е.Н. Противопожарное водоснабжение. - М.: Стройиз-дат, 1986. - 316 с.
3. Тарасов-Агалаков Н.А. Практическая гидравлика в пожарном деле. - М.: Издательство МКХ РСФСР, 1959 г.
4. Ходаков В.Ф. Гидравлика в пожарном деле. - М.: ВШ МООН РСФСР, 1965. - 204 с.

5. Stenstrom B., Salen & Wikander A.V. Пат. 151140, Норвегия, Расположение трансверсака в режиме vaesketstrale // Пожарный ствол с повышенной дальностью и компактностью выбрасываемой водяной струи. 1976.
6. Дзикас Н.М., Щебеко Н.Д., Кисель А.С., Введенский Н.Д., Астахов Г.И. Пожарная техника. - М.: ЦНИИТЭ Строймаш, 1974, - 660 с.
7. Ван Дайк М. Методы возмущений в механике жидкости. М., Мир, 1967, 310 с.
8. Басин М.А., Шадрин В.П. Гидроаэродинамика крыла вблизи границы раздела сред. Издательство: Л.: Судостроение, 1980, - 304 с.
9. Патент SU 1797922 A1 - СССР, опубликован 1993.02.28, Хосанов Х.Х., Петухов СВ., СССР, Устройство для подачи огнегасительного вещества.
10. Патент SU629936A1, опубликован 1978.10.30, Заявитель: Ермаков Ю.М., СССР, Насадок для подачи жидкости.
11. Ермаков Ю.М., Насадок закручивающий воду винтом делает гидранты и брандспойты значительно эффективней. Изобретатель и рационализатор. №11, 1982, с. 24-25 с.
12. Патент RU 96107542 А, опубликован 1998.04.27, Заявитель: Ермаков Ю.М., СССР Насадок к устройству для подачи подвижном среды Изобретатель.

References

1. Stepanov V.I., Varganov V.A. Analysis of conditions for delivering fire extinguishing agents to the nozzle of a monitor // Fire Equipment, Means and Methods of Firefighting. – Moscow: VNIPO, 1992. pp. 31-35.
2. Ivanov E.N. Firefighting Water Supply. – Moscow: Stroyizdat, 1986. – 316 p.
3. Tarasov-Agalakov N.A. Practical Hydraulics in Firefighting. – Moscow: Publishing House of the Ministry of Housing and Communal Services of the RSFSR, 1959.
4. Khodakov V.F. Hydraulics in Firefighting. – Moscow: Higher School of the Ministry of Internal Affairs of the RSFSR, 1965. – 204 p.
5. Stenstrom V., Salen & Wikander A.V. Pat. 151140, Norway, Arordmng fon transversak sammenholding av vaesketstrale // Fire Nozzle with Increased Range and Compactness of the Water Jet, 1976.
6. Dzikas N.M., Shebeko N.D., Kisel A.S., Vvedensky N. D., Astakhov G.I. Fire Equipment. – Moscow: TsNIITE Stroy mash, 1974. – 660 p.
7. Van Dyke M. Perturbation Methods in Fluid Mechanics. – Moscow: Mir, 1967. – 310 p.
8. Basin M.A., Shadrin V.P. Hydroaerodynamics of the Wing near the Interface Boundary. – Leningrad: Shipbuilding, 1980. – 304 p.
9. Patent SU 1797922 A1 – USSR, published 1993.02.28, Khosanov Kh.Kh., Petukhov S.V., USSR, Device for Supplying Fire Extinguishing Agent.
10. Patent SU 629936 A1, published 1978.10.30, Applicant: Ermakov Yu.M., USSR, Nozzle for Supplying Liquid.
11. Ermakov Yu.M. Screw-Type Nozzle for Water Twisting Makes Hydrants and Nozzles Significantly More Effective // Inventor and Innovator, No. 11, 1982, pp. 24-25.
12. Patent RU 96107542 A, published 1998.04.27, Applicant: Ermakov Yu.M., USSR, Nozzle for Supplying a Moving Medium.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.07.2024, одобрена после рецензирования 20.08.2024, принята к публикации 30.08.2024.

The article was submitted 27.07.2024, approved after reviewing 20.08.2024, accepted for publication 30.08.2024.

Научная статья
УДК 614.84:004.4
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.13.52.013

Программный алгоритм для определения категории риска объекта защиты с учетом интегрального показателя тяжести потенциальных негативных последствий пожара

Глеб Юрьевич Юркин^{1,2}
Наталья Юрьевна Проскова¹
Дмитрий Юрьевич Козлов¹

¹Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

²Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Автор ответственный за переписку: Глеб Юрьевич Юркин, knd@sibpsa.ru

Аннотация. На основе Распоряжения Правительства РФ от 21 декабря 2023 г. № 3745-р “Об утверждении Концепции совершенствования контрольной (надзорной) деятельности до 2026 г. и плана-графика по ее реализации” рассмотрены вопросы актуализации программного обеспечения, используемого контролируемыми лицами при определении категории риска в области пожарной безопасности при применении риск-ориентированного подхода. Рассматриваются вопросы усовершенствованной математической модели, описывающей механизм принятия решений по категорированию объектов контроля в области пожарной безопасности. Получены расчетные математические формулы для определения интегрального показателя тяжести потенциальных негативных последствий пожара с учетом индекса индивидуализации подконтрольного лица. Разработан универсальный программный алгоритм в целях реализации вычислительных процедур для индивидуального объекта надзора с учетом его индекса индивидуализации. Результаты работы являются важными конструктивными компонентами программирования. Созданный программный алгоритм может быть легко детализирован и преобразован. Алгоритм не связан с какими-либо особенностями синтаксиса языков программирования, а также со спецификой функционирования конкретных ЭВМ, что делает его универсальным.

Ключевые слова: риск-ориентированный подход, категория риска, пожарная безопасность, интегральный показатель тяжести потенциальных негативных последствий пожара, алгоритм

Для цитирования: Юркин Г.Ю., Проскова Н.Ю., Козлов Д.Ю. Программный алгоритм для определения категории риска объекта защиты с учетом интегрального показателя тяжести потенциальных негативных последствий пожара // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 154-161. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.13.52.013>.

Original article

SOFTWARE ALGORITHM FOR DETERMINING THE RISK CATEGORY OF THE PROTECTED OBJECT ACCORDINGLY THE INTEGRAL INDICATOR OF THE SEVERITY OF THE POTENTIAL NEGATIVE CONSEQUENCES OF A FIRE

Gleb Yu. Yurkin^{1,2}

*Nataliya Yu. Proskova*¹

*Dmitri Yu. Kozlov*¹

¹ Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Corresponding author: *Gleb Yu. Yurkin, knd@sibpsa.ru*

Abstract. Based on the Order of the Government of the Russian Federation dated December 21, 2023 No. 3745-r “On approval of the Concept for improving control (supervisory) activities until 2026 and the schedule for its implementation”, the issues of updating the software used by supervised persons in determining the risk category in the field of fire safety when applying the risk-oriented approach are considered. The issues of an improved mathematical model describing the decision-making mechanism for categorizing supervised objects in the field of fire safety are considered. The objective of the study is to obtain calculation mathematical formulas for determining the integral indicator of the severity of potential negative consequences of a fire, taking into account the individualization index of the supervised person. A universal software algorithm has been developed to implement computational procedures for an individual supervision object taking into account its individualization index. The results of the work are important constructive components of programming. The created software algorithm can be easily detailed and transformed. The algorithm is not associated with any features of the syntax of programming languages, as well as with the specifics of the functioning of specific computers, which makes it universal.

Keywords: risk-based approach, risk category, algorithm, integral indicator of the severity of potential negative consequences of a fire

For citation: Yurkin G.Yu., Proskova N.Yu., Kozlov D.Yu. Software algorithm for determining the risk category of the protected object accordingly the integral indicator of the severity of the potential negative consequences of a fire // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2024. № 3 (34). С. 154-161. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.13.52.013>.

Введение

Несмотря на значительное число теоретических и прикладных исследований в направлении совершенствования государственного контроля и надзора в области пожарной безопасности, эта проблема не теряет своей актуальности. В результате реформирования контрольно-надзорной деятельности в качестве базисного принципа, составляющего основу реализации органами федерального государственного пожарного надзора своих функций, стал рассматриваться риск-ориентированный подход.

В последнее время прозрачность государственного регулирования существенным образом повысилась. С одной стороны, этому способствовало формирование и введение новой информационной системы «Единый реестр контрольных (надзорных) мероприятий» [1]. В реестре содержится утвержденный ежегодный план контрольных (надзорных) мероприятий, в строгом соответствии с которым инспектор взаимодействует с контролируемым лицом.

С другой стороны, у самого бизнеса появилась возможность оспорить присвоенную его объектам категорию риска, а, следовательно, и периодичность проверок. Чтобы подать заявление об изменении категории риска объекта надзора используется сервис «Досудебное обжалование» на портале ГосУслуги. Для этой цели предприниматель может самостоятельно рассчитать категорию риска своего объекта с помощью бесплатных программ для ЭВМ [2,3].

Использование современных информационных технологий в новых аналитических системах открывает возможности для непрерывного повышения эффективности надзорной деятельности за счет обновления подходов к планированию контрольно-надзорных мероприятий в области пожарной безопасности.

Методология

Существующие в настоящее время в рамках риск-ориентированного подхода порядок и критерии, используемые при отнесении объектов защиты к определенной категории риска в области пожарной безопасности, сформировались в результате последовательных преобразований.

На первом этапе для отнесения к определенной категории риска учитывались качественные критерии объекта. Например, класс функциональной пожарной опасности объекта, социальная направленность и стратегическая важность объекта и др. [5]. Однако такой «классовый» подход не учитывал ни индивидуальных особенностей объекта защиты, ни сведений о количестве пожаров и их последствиях на схожих объектах. Более того, на примере городов федерального подчинения – Москвы и Санкт-Петербурга – было показано, что на объекты социально-культурно-бытового назначения, отнесенные к двум самым высоким группам пожарного риска, приходилось максимальное количество проверок. При этом согласно официальным статистическим данным, доля пожаров на объектах соцкультбыта составляла не более 2,5 %, а гибель людей – не более 0,7 % от общего числа погибших на пожарах [6].

На следующем этапе была разработана методологическая база, соответствующая общей тенденции в надзоре – ориентации на «управление риском причинения вреда (ущерба)». Объекты защиты стали относить к определенной категории риска согласно математической модели. В модели были формализованы такие понятия как вероятность наступления события (пожара) с соответствующими последствиями, допустимый уровень риска причинения вреда (ущерба) при пожаре [7]. На основе указанных понятий был определен новый показатель – «тяжесть потенциальных негативных последствий пожара К_{Г.Т.}», предполагающий осуществление количественных расчетов по отнесению объектов защиты к определенной категории риска.

Эта модель позволила учитывать данные об индивидуальных социально-экономических характеристиках объекта защиты – индикаторах риска причинения вреда (ущерба), а также опираться на критерии добросовестности подконтрольного лица. Объект защиты теперь получал «индекс индивидуализации». В зависимости от значения индекса индивидуализации подконтрольного лица категория риска конкретного объекта защиты может быть изменена органом государственного пожарного надзора на более высокую или более низкую.

Дальнейшее развитие математической модели категорирования было связано с появлением официально утвержденного метода расчета материальных последствий пожаров. К настоящему времени модель категорирования учитывает не только социальные негативные последствия пожаров (гибель людей), но и потенциальные опасности, связанные с возникновением материальных последствий пожаров [8].

Однако расчет «интегрального показателя тяжести потенциальных негативных последствий пожаров К_{Г.Т.М.п.}» с учетом тяжести негативных материальных последствий при категорировании объекта осуществляется при выполнении одного из условий, содержащихся в п. 2 Постановления «О внесении изменений в Положение о федеральном государственном пожарном надзоре»: а) объект защиты находится в государственной или муниципальной собственности; б) на объекте защиты осуществляют экономическую деятельность более одного контролируемого лица. Если категорируемый объект не удовлетворяет ни одному из условий, то значение показателя тяжести потенциальных материальных негативных последствий пожара принимается равным нулю.

Таким образом, согласно последним изменениям математической модели по отнесению объектов контроля к определенной категории риска с учетом риска возникновения материального ущерба при пожаре интегральный показатель тяжести потенциальных негативных последствий пожаров с учетом индекса индивидуализации можно записать в виде:

$$K_{Г.Т.М.инд} = \sqrt{K_{Г.Т.}^2 + K_{М.н}^2} + \sum_{j=1}^M I_{рпв} + \sum_{i=1}^N I_{крд}$$

где: $K_{Г.Т.}$ – показатель тяжести потенциальных социальных негативных последствий пожаров; $K_{М.н}$ – показатель тяжести потенциальных материальных негативных последствий пожаров; $I_{рпв}$ – индикаторы риска причинения вреда (ущерба); M – общее количество учтенных индикаторов риска причинения вреда (ущерба); $I_{крд}$ – критерии добросовестности; N – общее количество критериев добросовестности.

Для объектов защиты, однородных по виду экономической деятельности и классам функциональной пожарной опасности, значения показателей тяжести потенциальных социальных $K_{Г.Т.}$ и материальных негативных последствий пожаров $K_{М.н}$ рассчитываются ежегодно органом федеральной исполнительной власти, уполномоченным на решение задач в области пожарной безопасности, и публикуются на его официальном сайте в информационно-телекоммуникационной сети Интернет.

Индикаторы риска причинения вреда (ущерба), отражающие индивидуальные характеристики конкретного объекта защиты, и критерии добросовестности, характеризующие вероятность несоблюдения на конкретном объекте защиты обязательных требований пожарной безопасности, устанавливаются в соответствии с приложением № 2 к Положению о федеральном государственном надзоре.

Вычисленное значение интегрального показателя тяжести потенциальных негативных последствий пожаров с учетом индекса индивидуализации попадает в один из уровней тяжести потенциальных негативных последствий пожара. Уровень тяжести потенциальных негативных последствий пожара принимается за соответствующую категорию риска для группы объектов защиты, однородных по виду экономической деятельности и классам функциональной пожарной опасности. Уровни тяжести потенциальных негативных последствий пожара, определенные в работе [9], были закреплены в нормативных правовых документах. Уровни и соответствующие им категории риска приведены в Таблице 1.

Таблица 1 Категории риска и соответствующие им числовые значения показателя тяжести потенциальных негативных последствий пожаров

Категория риска	Значение показателя ($K_{Г.Т.М.н}$)
Чрезвычайно высокий риск	$K_{Г.Т.М.н} \geq 100$
Высокий риск	$45 \leq K_{Г.Т.М.н} < 100$
Значительный риск	$20 \leq K_{Г.Т.М.н} < 45$
Средний риск	$9 \leq K_{Г.Т.М.н} < 20$
Умеренный риск	$4 \leq K_{Г.Т.М.н} < 9$
Низкий риск	$0 \leq K_{Г.Т.М.н} < 4$

Новый порядок отнесения к определенной категории риска поднадзорных зданий, сооружений и помещений, а также наружных установок, базирующийся на обновленной модели с учетом материальных последствий пожаров, вступает в силу уже с 1 января 2025 года. Следовательно, становится актуальной задача обновления специализированных компьютерных программ для определения категории риска объекта защиты [2,3].

Алгоритмизация

Неотъемлемым этапом создания компьютерной программы является разработка программного алгоритма действий. Алгоритм представляет собой точное предписание, последовательность действий, приводящих к решению вычислительной или логической задачи.

В настоящей статье графическим способом (в виде блок-схемы) представлен разработанный авторами программный алгоритм по отнесению объектов защиты к определенной категории риска по пожарной безопасности согласно обновленной математической модели. За основу был взят алгоритм, который авторы использовали в своей программе [3] ранее. Следует отметить, что аналогичная программа ЭВМ «Онлайн-калькулятор по РОП» [2] реализует схожий программный алгоритм [10].

Так как используемая математическая модель для расчета категории риска объекта защиты предполагает учет материальных последствий пожара при выполнении одного из условий, обозначенных выше, а полученное при вычислении значение $K_{Г.Т.М.инд}$ необходимо определить в один из шести уровней тяжести, выбран разветвляющийся тип алгоритма.

Этапы ввода и вывода данных определены решаемой задачей по вычислению категории риска объекта надзора. На этапе ввода вносятся исходные данные, характеризующие объект. Этап вывода – текстовая константа, обозначающая вычисленную категорию риска.

Алгоритм содержит два уровня логических блоков, разделенных промежуточными данными. Для выбора формулы (действия по вычислению), по которой будет вычисляться $K_{Г.Т.М.инд}$, необходимо проанализировать условия. Логические блоки имеют один вход и два выхода (ветвь «да» и ветвь «нет»). В качестве промежуточных данных выступает вычисленный $K_{Г.Т.М.инд}$. Далее следуют логические блоки, результатом анализа которых будет отнесение $K_{Г.Т.М.инд}$ к одной из категорий риска. На Рисунке 1 представлена блок-схема алгоритма отнесения объектов защиты к определенной категории риска по пожарной безопасности.

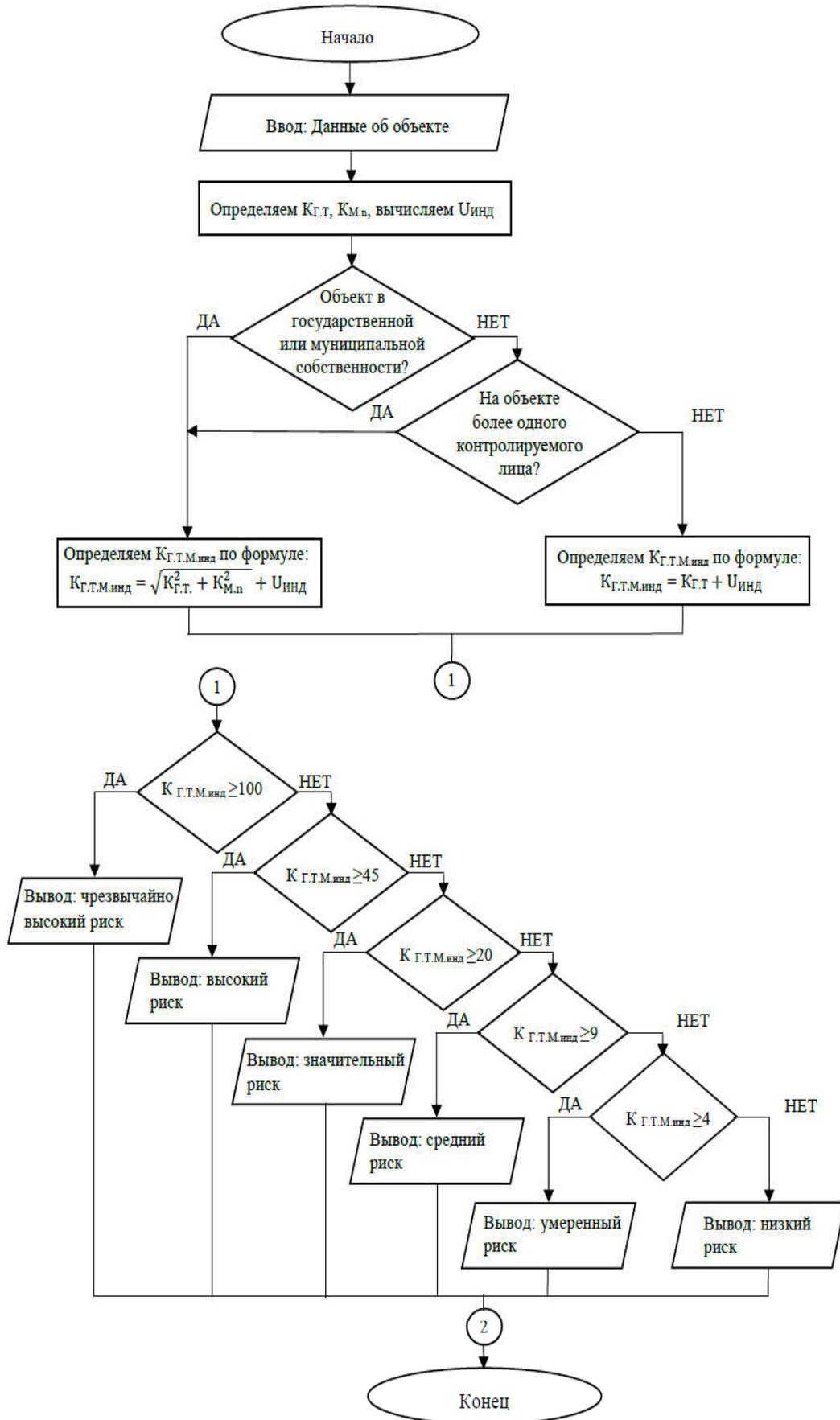


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма отнесения объектов защиты к определенной категории риска по пожарной безопасности

Заключение

На основе обновленной математической модели по отнесению объектов контроля к определенной категории риска по пожарной безопасности получена формула для вычисления интегрального показателя тяжести потенциальных негативных последствий пожара с учетом индекса индивидуализации подконтрольного лица. В целях реализации вычислительных процедур разработан универсальный программный алгоритм, на базе которого возможно создание программы для ЭВМ на любом языке программирования.

На пути совершенствования контрольно-надзорной деятельности со стороны Правительства Российской Федерации для снижения административных барьеров и упрощения условий ведения бизнеса сделано уже немало. Дальнейшее развитие системы управления рисками в рамках проверок контрольно-надзорными органами потребует доработки и донастройки используемых в контрольной деятельности цифровых сервисов. Важно, чтобы программы, предназначенные, прежде всего, для хозяйствующих субъектов, были не только просты в использовании, но и содержали актуальные нормативные данные.

Список источников

1. Юркин Г.Ю., Проскова Н.Ю., Малышенко В.А. О проблемах внедрения федеральной информационной системы «единый реестр контрольных (надзорных) мероприятий» в деятельность надзорных органов России // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Железнодорожск. 2022. С.61-64.
2. Сурина Г.П., Зобков Д.В., Ушаков Д.В., Лагозин А.Ю. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 13.03.2021 № 2021613601. Программа расчета по отнесению объектов защиты к определенной категории риска при осуществлении федерального государственного пожарного надзора (Калькулятор - помощник).
3. Сергеев И.Ю., Юркин Г.Ю., Шубкин Р.Г. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от № 30.11.2021 № 2021669503. Онлайн-калькулятор отнесения объектов защиты к определенной категории риска.
4. Зобков Д.В., Порошин А.А., Кондашов А.А. Модель отнесения объектов защиты к определённой категории риска в области пожарной безопасности // Технологии техносферной безопасности. 2020. № 4(90). С.19-31.
5. Зобков Д.В., Порошин А.А. Риск-ориентированный подход в деятельности Федерального государственного пожарного надзора: этапы развития; методологическая база // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Материалы IX Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию создания первого в Республике Беларусь научного подразделения в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и пожаров. Минск. 2021. С.280-284.
6. Коробко В.Б. [и др.] Актуализация требований пожарной безопасности на основе риск-ориентированного подхода // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 6. С.7-17.
7. Зобков Д.В. [и др.] Методология отнесения объектов защиты к определенной категории риска с учетом положений федерального закона от 31.07.2020 № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации» // Актуальные проблемы пожарной безопасности: Материалы XXXII Международной научно-практической конференции. Балашиха. 2020. С. 3-9.
8. Зобков Д.В. [и др.] Учёт материальных последствий пожаров при определении категорий риска объектов контроля // Технологии техносферной безопасности. 2023. № 2(100). С.8-24.
9. Порошин А.А. [и др.] Математическая модель определения категорий риска объектов защиты в области пожарной безопасности // Актуальные проблемы пожарной безопасности: Материалы XXXII Международной научно-практической конференции. Балашиха. 2020. С.30-37.

10. Зобков Д.В. Автоматизация процедур принятия решений по отнесению объектов надзора к определенной категории риска в области пожарной безопасности // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 4(27). С.32-37.

References

1. Yurkin G.Yu., Proskova N.Yu., Malyshenko V.A. On the problems of implementing the federal information system "national register of control (supervisory) measures in the activities of supervisory authorities of Russia // Actual problems of ensuring fire safety and protection from emergency situations: Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference. Zheleznogorsk. 2022. pp.61-64.
2. Surina G.P., Zobkov D.V., Ushakov D.V., Lagozin A.Yu. Certificate of state registration of the computer program dated March 13, 2021 No. 2021613601. Calculation program for attributing objects of protection to a certain risk category in the implementation of federal state fire supervision (Calculator-assistant).
3. Sergeev I.Yu., Yurkin G.Yu., Shubkin R.G. Certificate of state registration of the computer program dated November 30, 2021 No. 2021669503. Online-calculation program for attributing objects of protection to a certain risk category.
4. Zobkov D. V., Poroshin A. A., Kondashov A. A. Model for assigning security objects to a specific risk category in the field of fire safety. Technology of technosphere safety, 2020, 4(90): 19-31.
5. Zobkov D., Poroshin A. Risk-oriented approach in the activities of the federal state fire supervision: stages of development; methodological base. Emergency situations: Prevention and elimination: materialy IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii 65th anniversary of The Scientific Research Institute of Fire Safety and Emergencies, Republic of Belarus, Minsk, 2021, pp. 280-284.
6. Korobko V. B., Glukhovenko Yu. M., Ovchinskiy A. S., Gurlev I. V. Updating of fire safety requirements based on the risk-based approach. Pozharovzryvobezопасnost / Fire and Explosion Safety, 2018, vol. 27, no. 6, pp. 7–17.
7. Zobkov D.V. [et al.] Methodology for classifying protected objects as a certain risk category, taking into account the provisions of the Federal Law of July 31, 2020 No. 248-FZ "On State Control (Supervision) and Municipal Control in the Russian Federation" // Actual Problems of Fire Safety: Proceedings of the XXXII International Scientific and Practical Conference. Balashikha. 2020. Pp. 3-9.
8. Zobkov D.V. [et al.] Taking into account the material consequences of fires when determining the risk categories of control objects // Technologies of technosphere safety. 2023. №. 2(100). P.8-24.
9. Poroshin A.A. [et al.] Mathematical model for determining risk categories of protected objects in the field of fire safety // Actual problems of fire safety: Proceedings of the XXXII International scientific and practical conference. Balashikha. 2020. Pp.30-37.
10. Zobkov D. V. Automation of decision-making procedures for attributing objects of supervision to a certain category of risk in the field of fire safety. Siberian Fire and Rescue Bulletin, 2022; 4(27):32-37.

Информация об авторах

Г.Ю. Юркин - кандидат физико-математических наук

Information about the author

G.Yu. Yurkin - Ph.D. of Physico-mathematical Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.07.2024, одобрена после рецензирования 20.08.2024, принята к публикации 30.08.2024.

The article was submitted 27.07.2024, approved after reviewing 20.08.2024, accepted for publication 30.08.2024.

Научная статья
УДК 316332.1:614.84
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.23.77.014

Профилактика детского травматизма при пожарах в образовательных организациях

Виктория Павловна Гаврюшенко

ВНИИПО МЧС России, Балашиха, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-3836-3862>

Автор ответственный за переписку: Виктория Павловна Гаврюшенко, vig.fob@mail.ru

Аннотация. Пожары в школах и других образовательных организациях составляют незначительный процент, что не снимает актуальности их профилактики в целом, равно как и травматизма обучающихся как их следствия. Рассматриваются институциональные, организационные, идеологические и статистические аспекты этой деятельности. Выявлены недостатки в статистическом анализе, методическом сопровождении, отсутствие документа стратегического планирования, типизация работы без системного подхода, несоответствие уровня части мероприятий развитию информационного общества и особенностям восприятия и медиапотребления российских школьников. Проведен критический анализ методических рекомендаций МЧС РФ.

Ключевые слова: противопожарная безопасность, образовательные организации, школы, дети, подростки, пожар, травмы

Для цитирования: Гаврюшенко В.П. Профилактика детского травматизма при пожарах в образовательных организациях // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 162-167. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.23.77.014>.

Original article

PREVENTION OF CHILD INJURIES DUE TO FIRES IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Victoria P. Gavriushenko

VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Balashikha, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-3836-3862>

Corresponding author: Victoria P. Gavriushenko, vig.fob@mail.ru

Abstract. Fires in schools and other educational organizations make up a small percentage, which does not remove the relevance of their prevention in general, as well as injuries to students as their consequences. Institutional, organizational, ideological and statistical aspects of this activity are considered. We identified shortcomings in statistical analysis, methodological support, the absence of a strategic planning document, typification of work without a systematic approach, and inconsistency of the level of some activities with the development of the information society and the peculiarities of perception and media consumption of Russian schoolchildren. A critical analysis of the methodological recommendations of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation was carried out.

Key words: fire safety, educational organizations, schools, children, teenagers, fire, injuries

For citation: Gavriushenko V.P. Prevention of child injuries due to fires in educational institutions // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2023. № 3 (34). С. 162-167. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.23.77.014>.

По данным МЧС РФ количество пожаров в зданиях и помещениях учебно-воспитательного назначения в последние годы растет. Так, если в 2021 г. здесь произошло – 283 пожара, то в 2022 г. – 324 [1]. В 2023 г. СМИ регулярно сообщали о пожарах в школах Санкт-Петербурга [2], в Приморье [3], Марий-Эл [4], Великом Новгороде [5] и других регионах.

В центре внимания органов образования и территориальных органов МЧС РФ находится профилактика, т.е. устранение (предельная минимизация) имеющихся и потенциальных условий, причин и факторов, которые могут провоцировать или способствовать пожарам в образовательных организациях.

Основой всякой эффективной профилактики в сфере безопасности несовершеннолетних, как обосновано, отмечает группа российских экспертов, лежит анализ статистики и состояния дел в сфере пожаров и сопутствующего травматизма обучающихся, что необходимо для выявления тенденций и закономерностей, разработки мер превенции и противодействия [13]. Очевидно, что для разработки мер профилактики, ведения просветительской и инструктивной работы, равно как и анализа ситуации, важна точность статистики, которая нередко игнорируется или используется произвольно.

Так, авторы анализа [7] приводят без ссылок на источник данные о том, что ежегодно в России 2% пожаров возникают в образовательных учреждениях, где гибнет свыше 700 детей [7, с.521], что не соответствует действительности. Так, по официальным данным МЧС РФ в 2021-2022 г. (последние доступные данные) при пожарах в школах и других образовательно-воспитательных организациях погиб лишь один человек [1]. Не соответствует действительности и доля пожаров. Так в 2021-2022 гг. из почти 742 тыс. пожаров, произошедших в России, в образовательных организациях произошло лишь 559, что составляет ничтожные доли процента.

Обращаю внимание на различное отношение в действующем нормативном правовом регулировании к погибшим и травмированным при пожарах. Так, в соответствии с основным актом, определяющим требования к пожарной безопасности – Техническим регламентом [14] индивидуальный пожарный риск (ИПР) определяется пожарным риском, способным привести к гибели человека под воздействием опасных факторов пожара [14]. Он закреплен как показатель (индикатор) состояния пожарной безопасности объекта. Наряду с этим число травмированных (риск травмирования при пожаре) никак не регламентирован и не нормирован. Таким образом, такой риск хотя и приводится в отчетности, но никак не влияет на общие показатели пожарной безопасности.

В то же время, проведенные расчёты показателей индивидуального пожарного риска демонстрируют крайне низкий уровень безопасности населения России, кой Федерации, не соответствует регламентируемым и целевым требованиям [15].

Рассматриваемая проблема обусловлена травматизмом несовершеннолетних лиц, их неготовностью к быстрым и осознанным действиям по спасению. Отсюда делается вывод о недостаточности разъяснительной работы [7], однако причина не только в этом. Обращаю также внимание на то, что в последние годы в специальной литературе по противопожарной тематике школы перестали относить к объектам с массовым пребыванием людей [8], что представляется в корне неправильным.

Статистические данные свидетельствуют о том, что система образования в целом соблюдает меры противопожарной безопасности. В то же время, актуальность профилактики детского травматизма при пожарах в школах и других образовательных организациях сохраняется в условиях высоких рисков текущей ситуации.

В части специальных работ ситуация искусственно упрощается до того, что «комплексная пожарная безопасность – это *всего лишь* (так у авторов) несколько правил, которые необходимо *просто* выучить» [16]. На практике всё существенно сложнее.

Политика минимизации рисков возникновения неконтролируемого огня, активная готовность школ предполагает, прежде всего, их организационно-техническую готовность. Речь идёт о разработке органами исполнительной власти и местного самоуправления государственных (муниципальных) программ по данным объектам, планируя их полное оснащение и дальнейшее плановое оборудование системами автоматической противопожарной защиты, автоматической пожарной сигнализацией, а также выделить целевое финансирование на противопожарные и регулярные регламентные мероприятия по поддержанию школ в пожаробезопасном состоянии, а соответствующих систем защиты в активном состоянии. При этом органы управления образованием и территориальные органы МЧС России обязывают руководителей образовательных организаций устранить имеющиеся нарушения требований пожарной безопасности, полностью обеспечив соблюдение противопожарного режима.

В 2020 г. МЧС России разработало и приняло Методические рекомендации по предупреждению гибели и травматизма несовершеннолетних на пожарах [9]. Документ нуждается в существенной корректировке с учетом реалий информационного общества, психологии современного ребенка и подростка, сложившейся системы взаимоотношений школы и родителей, относительно слабой активности институтов гражданского общества.

Сложно согласиться с поставленной в документе задачей «обеспечения эффективной *пропагандистской работы* с родительской общественностью в общеобразовательных организациях», так как суть и содержание такой работы ушли в прошлое именно ввиду низкой эффективности.

Иное дело профилактическая работа с обучающимися, которых необходимо заинтересовать. Эксперты обосновано указывают на то, что разъяснять правила пожарной безопасности школьникам должен «настоящий пожарный» в форме МЧС России, со средствами тушения, который может на месте создать имитацию пожара, а затем потушить его, привести показательный случай из опыта [10].

Обращаю внимание на то, что МЧС России и его территориальные органы не входят в систему профилактики безнадзорности и правонарушений несовершеннолетних (в соответствии со ст. 4 Федерального закона от 24.06.1999 № 120-ФЗ «Об основах системы профилактики безнадзорности и правонарушений несовершеннолетних»), поэтому такого рода работу проводить не уполномочены. Этим занимаются сотрудники полиции.

В соответствии с методическими указаниями «эффективность пропагандистской работы» предполагается достичь через СМИ, которые в документе ограничены телевидением, радио и печатными изданиями, т.е. тем, что подростки не смотрят, не слушают и не читают. Авторы ещё проекта Указаний не вполне обоснованно, на наш взгляд, полагали, что «наглядная агитация и устная пропаганда» (термины явно из политического дискурса первой половины XX в.) явно уступают «возможностям видеоресурсов, прежде всего телевидения». Данный подход представляется ошибочным, так как, во-первых, российское телевидение не уделяет внимание рассматриваемым вопросам; во-вторых, подростки отдают предпочтение интернету и мало смотрят телевизионные каналы. По данным ВЦИОМ (2021 г.) российская молодежь (около 70%) получают информацию из интернета и не смотрят телевидение [11]. В этой связи задача, поставленная в Методических рекомендациях МЧС «организовать взаимодействие по вопросам недопущения гибели и травматизма детей с ТВ и радиоканалами» возможно правильна, но мало эффективна. То же можно сказать и об идее вести «трансляцию текстов по громкоговорящей связи в местах массового пребывания людей», включая транспорт, торговые центры, стадионы и т.п. Этот прием также заимствован из прошлого. Такого рода трансляции нарастают и без того высокий акустический и информационный фон российских городов

[12] и не будут иметь воздействия на детей и подростков, выросших уже в информационном обществе и привыкших к иным каналам получения информации.

Ключевым направлением работы со школьниками представляется выработка навыков и способности самостоятельно, быстро и безошибочно ориентироваться в ситуации при возникновении угрозы пожара и чрезвычайных ситуаций, определять решающее направление действий [9].

Исследование организационной практики российских школ показывает наличие типового набора мероприятий, систематизированных в ежегодных планах. Как правило, это информирование обучающихся и их родителей о принятых в школе мерах пожарной безопасности, а также определении персональной ответственности за нарушение правил пожарной безопасности. Кроме того, в большинстве школ используются наглядные средства, в основном в формате уголков пожарной безопасности. Также большинство школ проводят совместно с сотрудниками МЧС просветительские и инструктивные мероприятия, в том числе касающиеся ответственности за умышленное или неосторожное обращение с огнем, повлекшее пожар.

В российских школах проводятся профилактические мероприятия по пожарной безопасности, демонстрируются соответствующие наглядные материалы, в рамках практических тренировок отрабатываются навыки безопасного поведения при чрезвычайной ситуации.

Профилактика детского травматизма в образовательных организациях требует систематического и комплексного подхода. Таким образом, необходимо не только обучать детей правилам безопасного поведения, но и создавать безопасную окружающую образовательную среду.

Список источников

1. Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на территории Российской Федерации за 12 месяцев 2022 г) // справочно-правовая система «Министерства Российской Федерации»: сайт. – URL: <https://uzdp.pf/files/306/analiz-dnpr-2022.pdf?ysclid=lxbirhxr6592988934> (дата обращения 15.08.2024).
2. В образовательных учреждениях Петербурга с начала года произошло 10 пожаров // Наш город. 2023. 7 сентября // СПб Дневник: сайт. - URL: <https://spbdnevnik.ru/news/2023-09-07/v-obrazovatelnyh-uchrezhdeniyah-peterburga-s-nachala-goda-proizoshlo-10-pozharov> (дата обращения 15.08.2024).
3. Почти 500 человек эвакуировались из школы в Приморье // РИА Новости. 2023. 06 апреля: сайт. - URL: <https://ria.ru/20230406/primore-1863364905.html> (дата обращения 15.08.2024).
4. В Марий Эл загорелась школа-интернат // РБК. 2023. 24 апреля: сайт. - URL: <https://www.rbc.ru/society/24/04/2023/64466c3a9a7947eee61a98ed> (дата обращения 15.08.2024).
5. В средней школе Великого Новгорода произошел пожар // Российская газета. 2023. 15 сентября: сайт. - URL: <https://rg.ru/2023/09/15/reg-szfo/v-shkole-velikogo-novgoroda-proizoshel-pozhar.html> (дата обращения 15.08.2024).
6. Ловкис Е.С., Плаксицкий А.Б., Мещеряков А.В. К вопросу об обеспечении пожарной безопасности образовательных учреждений // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. Вып. 1. №9. С. 521-524.
7. Климин И.С., Аксенов С.Г. К вопросу о пожарной безопасности объектов с массовым пребыванием людей // Аспект. 2023. №1: сайт. - URL: <https://na-journal.ru/1-2023-tekhnosfernaya-bezopasnost/4102-k-voprosu-o-pozharnoi-bezopasnosti-obektov-s-massovym-prebuvaniem-lyudei> (дата обращения 15.08.2024).
8. Методические рекомендации по предупреждению гибели и травматизма несовершеннолетних на пожарах / МЧС РФ. 2020. 30 марта № 2-4-71-8 // справочно-правовая система «МЧС России»: сайт. – URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/4476?ysclid=lxbnayfr6z927001612> (дата обращения 15.08.2024).

9. Борзенкова Е.Н., Богатский Ю.М. Пропаганда: критерий эффективности // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2023. №1 (4). С. 169-171.
10. Медиапотребление россиян: мониторинг// ВЦИОМ. 2021. - URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/mediapotreblenie-rossijan-monitoring> (дата обращения 15.08.2024).
11. Горбаткова А.Ф., Котлярова В.В. Проблема информационного шума в жизни человека XXI века // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2017. № 7.
12. Искалин В.И., Домрачев К.В., Скибневская Т.Г., Кондратьева Л.Г. Качество жизни населения региона и профилактика гибели и травматизма несовершеннолетних на пожарах // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2021. №3 (9). С. 22-25.
13. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (ред. от 25 декабря 2023 г.) // Собрание законодательства РФ. 2008. №30 (часть I). Ст. 3579.
14. Тимофеева С.С., Хамидулина Е.А., Гармышев В.В. Анализ, оценка, прогноз гибели и травмирования людей при пожарах в Российской Федерации // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2018. №2. С. 1-8.
15. Шадрин И.В., Буданов Б.В. Общие правила пожарной безопасности в школе // StudNet. 2021. Вып. 4. №5.

References

1. Analysis of the situation with fires and their consequences on the territory of the Russian Federation for 12 months of 2022) // reference and legal system of the "Ministries of the Russian Federation": website. - URL: <https://юздп.рф/files/306/analiz-dnpr-2022.pdf?ysclid=lxbirhxr6592988934> (date of access 08.15.2024).
2. There have been 10 fires in educational institutions of St. Petersburg since the beginning of the year // Our City. 2023. September 7 // SPB Dnevnik: website. - URL: <https://spbdnevnik.ru/news/2023-09-07/v-obrazovatelnyh-uchrezhdeniyah-peterburga-s-nachala-goda-proizoshlo-10-pozharov> (date of access 08.15.2024).
3. Almost 500 people evacuated from a school in Primorye // RIA Novosti. 2023. April 6: website. URL: <https://ria.ru/20230406/primore-1863364905.html> (accessed 15.08.2024).
4. A boarding school caught fire in Mari El // RBC. 2023. April 24: website. - URL: <https://www.rbc.ru/society/24/04/2023/64466c3a9a7947eee61a98ed> (date of access 08.15.2024).
5. A fire broke out in a secondary school in Veliky Novgorod // Rossiyskaya Gazeta. 2023. September 15: website. - URL: <https://rg.ru/2023/09/15/reg-szfo/v-shkole-velikogo-novgoroda-proizoshel-pozhar.html> (accessed 15.08.2024).
6. Lovkis E.S., Plaksitsky A.B., Meshcheryakov A.V. On the issue of ensuring fire safety of educational institutions // Fire safety: problems and prospects. 2018. Issue 1. №.9. pp. 521-524.
7. Klimin I.S., Aksenov S.G. On the issue of fire safety of facilities with a mass presence of people // Aspect. 2023. No. 1: website. - URL: <https://na-journal.ru/1-2023-tekhnosfernaya-bezopasnost/4102-k-voprosu-o-pozharnoi-bezopasnosti-obektov-s-massovym-prebyvaniem-lyudei> (date of access 08.15.2024).
8. Methodological recommendations for the prevention of deaths and injuries of minors in fires / EMERCOM of Russia. 2020. March 30, No. 2-4-71-8 // reference and legal system "EMERCOM of Russia": website. - URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/4476?ysclid=lxbnayfr6z927001612> (date of access 08.15.2024).
9. Borzenkova E.N., Bogatsky Y.M. Propaganda: an efficiency criterion// Fire safety: problems and prospects. 2023. №.1 (4). pp. 169-171.
10. Media consumption of Russians: monitoring // VTsIOM. 2021. - URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/mediapotreblenie-rossijan-monitoring> (date of access 15.08.2024).
11. Gorbatkova A.F., Kotlyarova V.V. The problem of information noise in human life of the XXI century // Scientific and methodological electronic journal "Concept". 2017. №. 7.

12. Iskalin V.I., Domrachev K.V., Skibnevskaya T.G., Kondratieva L.G. Quality of life of the population of the region and prevention of death and injury of minors in fires // Current issues of fire safety. 2021. №.3 (9). p. 22-25.

13. Federal Law №. 123-FZ of July 22, 2008 "Technical Regulations on Fire safety requirements" (as amended on December 25, 2023)// Collection of Legislation of the Russian Federation. 2008. №.30 (part I). Article 3579.

14. Timofeeva S.S., Khamidullina E.A., Garmyshev V.V. Analysis, assessment, forecast of death and injury of people in fires in the Russian Federation // Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 2018. №.2. pp. 1-8.

15. Shadrin I.V., Budanov B.V. General rules of fire safety at school// StudNet. 2021. Issue 4. №.5.

Вклад авторов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: The author declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.07.2024, одобрена после рецензирования 20.08.2024, принята к публикации 30.08.2024.

The article was submitted 27.07.2024, approved after reviewing 20.08.2024, accepted for publication 30.08.2024.

Научная статья
УДК 614.842.61.
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.18.49.015

Оценка эффективности тушения горючих жидкостей пеной совместно с хладоном

Артем Александрович Гапеев¹
Максим Андреевич Гудков¹
Петр Владимирович Комраков¹
Алексей Викторович Мещеряков¹
Юлия Николаевна Коваль²

¹Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

²Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

Автор ответственный за переписку: Артем Александрович Гапеев, kratos_1987@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены способы повышения эффективности огнетушащих пен, путем инжектирования в раствор пенообразователя хладонов, на примере хладона 318Ц и пенообразователя «Эльфтор Джой». В модельном очаге пожара проведено экспериментальное сравнение подслоного и поверхностного способов тушения такими пенами. Определены численные значения критических и оптимальных параметров тушения для поверхностного и подслоного способов тушения. Дана оценка эффективности использования таких пен с помощью параметра эффективности тушения.

Ключевые слова: эффективность тушения, пенные и газовые огнетушащие вещества, критическая и оптимальная интенсивность подачи, удельный расход, коэффициент использования огнетушащих веществ

Для цитирования: Гапеев А.А., Гудков М.А., Комраков П.В., Мещеряков А.В., Коваль Ю.Н. Оценка эффективности тушения горючих жидкостей пеной совместно с хладоном // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 168-175. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.18.49.015>.

Original article

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF EXTINGUISHING FLAMMABLE LIQUIDS WITH FOAM IN COMBINATION WITH REFRIGERANT

Artem A. Gapeev¹
Maxim A. Gudkov¹
Petr V. Komrakov¹
Alexey V. Meshcheryakov¹
Yulia N. Koval²

¹Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

²Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

Corresponding author: Artem A. Gapeev, kratos_1987@mail.ru

Abstract. The article discusses ways to increase the efficiency of fire extinguishing foams by injecting freons into the solution of a foaming agent, using the example of freon 318C and the Elfor Joy foaming agent. In a model fire, an experimental comparison of sublayer and surface extinguishing

methods with such foams was carried out. Numerical values of critical and optimal extinguishing parameters for surface and sublayer extinguishing methods have been determined. The effectiveness of using such foams is assessed using the extinguishing efficiency parameter.

Keywords: extinguishing efficiency, foam and gas extinguishing agents, critical and optimal feed rate, specific consumption, coefficient of use of extinguishing agents

For citation: Gapeev A.A., Gudkov M.A., Komrakov P.V., Meshcheryakov A.V., Koval Yu.N. Evaluating the effectiveness of extinguishing flammable liquids with foam in combination with refrigerant // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 3 (34). С. 168-175. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.18.49.015>.

Обзор проблемы

Практика пожаротушения резервуаров с горючими жидкостями, показала высокую эффективность при использовании воздушно-механических пен на основе фторированных пленкообразующих пенообразователей, в качестве огнетушащих веществ. Согласно стандартным подходам к ликвидации подобного рода возгораний принято, что пены низкой кратности и средней кратности подаются поверхностным способом, а пеноэмульсии и пены низкой кратности подслоным способом, при условии отсутствии ограничений на данный способ подачи от производителя.

Обзор существующих подходов к использованию альтернативных огнетушащих составов [1-5] в связи с малочисленностью данных позволяют установить только общие закономерности без количественной оценки. В конструктиве современных резервуаров предусмотрены устройства подачи хладонов, установленные на крыше, а также установки для подачи низкократной пленкообразующей пены на поверхность.

При подаче воздушно-механической пены в очаг пожара поверхностным и подслоным способами происходит не только изолирование паров горючей жидкости от зоны горения, но и разрушение пены, из пены выделяется водяной отсек, который охлаждает горючую жидкость и само пламя (Рис.1).

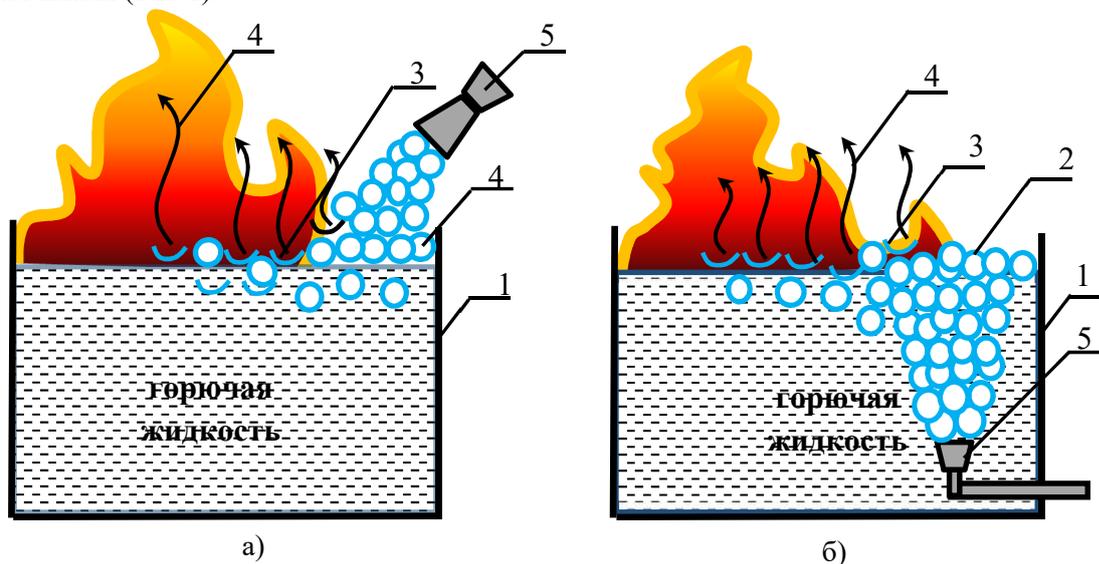


Рис.1. Способы подачи пены в модельный очаг пожара: а) надслоный способ подачи, б) подслоный способ подачи, 1- резервуар с горючей жидкостью 2 – пузырек пены, 3 – разрушенный (лопнувший) пузырек, 4 – выход огнетушащего газа из пузырька, 5 – пеногенератор

Механизмы изолирования, охлаждения и экранирование благоприятно воздействуют на тушение [8-12]. Но при разрушении пены из ее пузырьков выходит воздух, который попадая в пламя, поддерживает процесс горения, что, замедляет тушение. Поэтому в последние два десятилетия периодически возникала идея наполнения пузырьков пены огнетушащим газом, то

есть использование комбинированного способа тушения, что должно привести к уменьшению удельного расхода огнетушащей пены.

Однако представленный комбинированный подход к ликвидации пожара, при всех указанных преимуществах, предполагает внесение изменений конструктива генераторов пены для инъекции огнетушащего газа в раствор пенообразователя, что в свою очередь потребует финансовых затрат. Кроме того, изменятся расчетные величины оптимальной интенсивности подачи и критической интенсивности подачи. На основании представленного, решение задачи комбинированного способа тушения требует комплексного подхода, основанного на проведении лабораторных и полигонных исследований, в ходе которых необходимо установить:

1. Различие критических и оптимальных параметров тушения при инъекции огнетушащего газа;
2. Потери огнетушащего газа, связанные с его растворением в горючей жидкости при надслойным и послойным способами подачи.

Постановка и проведение эксперимента

Предварительные исследования в этом направлении проводились в Академии ГПС МЧС России [6,7]. Так на примере пенообразователя «Эльфор Джой» и хладона 318Ц были определены критические и оптимальные параметры тушения модельного очага пожара. Хладон 318Ц был выбран с учетом того, что он наименее опасен для здоровья человека по сравнению с другими хладонами (концентрация, оказывающая вред здоровью человека, составляет 10% об., озоноразрушающий потенциал (ОРП, ODP) равен 0). Для решения поставленной задачи использовали макет резервуара (Рис.2) диаметром 15 см. Для предотвращения вскипания горючей жидкости в макете предусмотрена система охлаждения водой. В качестве исследуемой горючей жидкости был выбран гептан. Для получения огнетушащей пены использовали 6% раствор пенообразователя «Эльфор Джой» с последующей инъекцией хладона 318Ц. (Рис.2). Кратность (Кп) полученной пены составила 7 и численно не менялась во всех опытах. Контроль интенсивности подачи раствора пенообразователя и расхода хладона 318Ц проводили по тарированному ротаметру. Величину интенсивность подачи (Iп) варьировали в диапазоне от 0,03 – 0,18 кг/(м²с).

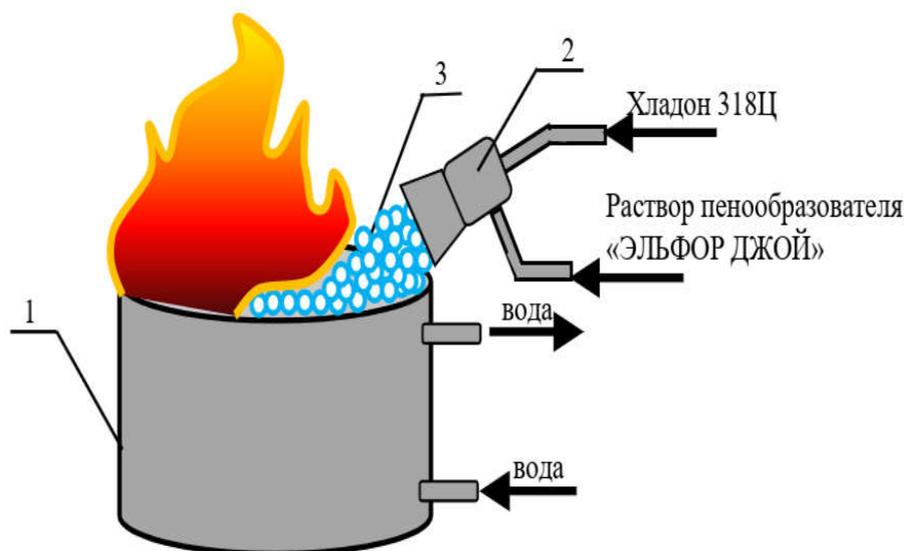


Рис.2. Структурная схема установки по определению параметров тушения горючих жидкостей пенами
1 – макет резервуара с водяной рубашкой охлаждения, заполненный керосином, 2 – макет пеногенератора

Результаты эксперимента при поверхностном способе подачи представлены в Табл.1.

Табл.1. Экспериментальные и расчетные параметры тушения при поверхностном способе подачи

№ п/п	Кратность пены K_p	Время тушения τ_T [с]	Интенсивность подачи I_p [$\frac{кг}{м^2 \cdot с}$]	Удельный расход $q_{уд}$ [$\frac{кг}{м^2}$]	Параметр эффективности и $P_{эт}$ [$\frac{м^2}{кг \cdot с}$]	Примечание
1	7	11,0	0,18	1,9	0,033	Параметр эффективности и рассчитывался только для оптимальной интенсивности и подачи
2		16,8	0,10	1,7		
3		20,0	0,08	1,6		
4		35,5	0,07	2,5		
5		46,3	0,05	2,3		
6		65,7	0,04	2,6		
7		93,0	0,03	2,9		

В соответствии с описанной ранее методикой провели исследования при подслоном способе подачи (Табл.2).

Табл.2. Экспериментальные и расчетные параметры тушения при подслоном способе подачи

№ п/п	Кратность пены K_p	Время тушения τ_T , [с]	Интенсивность подачи I_p , [$\frac{кг}{м^2 \cdot с}$]	Удельный расход $q_{уд}$, [$\frac{кг}{м^2}$]	Параметр эффективности и $P_{эт}$, [$\frac{м^2}{кг \cdot с}$]	Примечание
1	7	9,7	0,19	1,8	0,08	Параметр эффективности и тушения рассчитывался только для минимального удельного расхода
2		12,3	0,15	1,8		
3		10,3	0,12	1,2		
4		13,0	0,10	1,3		
5		34,6	0,05	1,7		
6		70,1	0,03	2,1		

Графическая интерпретация полученных данных для различных способов подачи представлена на Рис.3.

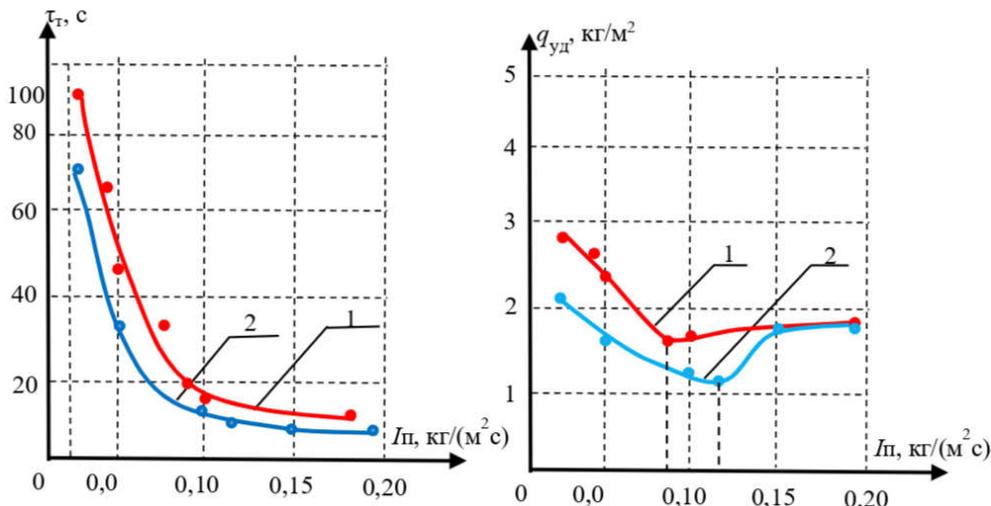


Рис.3. Зависимость времени тушения τ_t и удельного расхода $q_{уд}$ от интенсивности подачи при поверхностном (1) и подслоном (2) способах тушения

Сравнительный анализ (Рис.3) показал, что у подслоного способа подачи время тушения пожара меньше на 20 – 25%. При этом эффективность тушения определяется такими параметрами: как значением минимального удельного расхода пены и параметром эффективности тушения. И та интенсивность подачи, которая обеспечивает минимальный удельный расход (максимальный параметр эффективности тушения), и будет являться оптимальной. Оптимальную интенсивность подачи рекомендуют использовать как нормативную.

Минимальный удельный расход ($q_{уд}$), равный произведению времени тушения на интенсивность подачи пены, для поверхностного способа тушения составил 1,6 кг/м², для подслоного способа – 1,2 кг/м², соответственно.

Следовательно, подслоный способ тушения раствором пенообразователя «Эльфор Джой», инжестируемым хладомом 318Ц модельного очага пожара, наиболее предпочтителен, при этом оптимальная интенсивность подачи составит 0,12 кг/(м²с).

Параметр эффективности тушения для 6% раствора пенообразователя «Эльфор Джой» при подслоном тушении составил:

$$П_{эт} = \frac{1}{I_p \tau_t^2} = \frac{1}{0,12 \times 10,3^2} = 0,08 \text{ м}^2/(\text{кг} \cdot \text{с}) \quad (1)$$

где I_p – интенсивность подачи пены, кг/(м²·с);

τ_t – время тушения, [с].

Критическая интенсивность подачи (когда интенсивность подачи пены равна интенсивности ее разрушения) ориентировочно составила для обоих способов тушения – 0,02 кг/(м²с).

Результаты и их обсуждение

При сравнении с воздушно-механической пеной, полученной 6%-ым раствором пенообразователя «Эльфор Джой» установлено, что параметр эффективности тушения для воздушно-механической пены при подслоном тушении составил 0,05 м²/(кг·с), что значительно ниже, чем при тушении пеной с инжестируемым в нее хладомом.

Полученные численные результаты экспериментов (минимальный удельный расход и максимальный параметр эффективности тушения) по своим численным значениям превосходят значения аналогичных параметров, полученных тушением раствором пенообразователя «Эльфор Джой», инжестируемого воздухом в 1,5 раза. Но в этой области

необходимо проанализировать также экономическую и экологическую составляющие, что потребует дополнительных расчетов и экспериментальных исследований.

Список источников

1. Абдурагимов И.М. Сборник статей по физике и химии горения и взрыва. - Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. - 159 с. - URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/02000016976> (дата обращения 03.05.2023).
2. Авторское свидетельство № 1796206 СССР, МПК А62С 3/06. Устройство для тушения пожаров горючих жидкостей в резервуарах: № 4794821: заявл.: 23.02.1990: опубл.: 23.02.1993/ Шароварников А.Ф., Наумов В.В.; Заявитель // Высшая инженерная пожарно-техническая школа. 3 с.: ил. - URL: https://searchplatform.rospatent.gov.ru/doc/SU1796206A1_19930223 (дата обращения 03.05.2023).
3. Старков Н.Н. Действие механизма охлаждения при тушении пожаров жидкостей в резервуаре твердым диоксидом углерода // Пожаровзрывобезопасность. 2006. Т. 15. № 6. С. 58-60. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9434129> (дата обращения 03.05.2023).
4. Воевода С.С. и др. Влияние факторов пожара на огнетушащую эффективность плёнообразующих пенообразователей. Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 10. С. 63-65. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18059949&ysclid=lwqa364jah681597900> (дата обращения 03.05.2023).
5. Корольченко Д.А., Шароварников А.Ф., Дегаев Е.Н. Огнетушащая эффективность пены низкой кратности. Научный журн. Научное обозрение. 2015. № 8. С. 114-120. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23883465> (дата обращения 03.05.2023).
6. Комраков П.В., Борисова Т.А., Осипова П.А. «Оценки эффективности тушения пенами совместно с хладонами и другими газами», Материалы VIII международной научно-практической конференции «Пожаротушение проблемы, технологии, инновации» 17-18 марта, Часть 2, Академия ГПС МЧС РФ, М. 2022г., С. 84 – 89. - URL: <https://elibrary.ru/amqeu?ysclid=lwqaatq3lj416913101> (дата обращения 03.05.2023).
7. Комраков П.В., Герасимова И.Н., Грушева Т.Г., Григорьевская И.И. «Влияние огнетушащих газов, инжесктированных в состав пен, на эффективность тушения горючих жидкостей» Журнал «Пожары и ЧС: Предотвращение ликвидация» Академия ГПС МЧС РФ, М. 2022г., С. 12 – 18. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48859746> (дата обращения 03.05.2023).
8. Шароварников С.А., Корольченко Д.А., Ляпин А.В. Тушение многокомпонентных смесевых топлив фторсинтетическими пенообразователями подслоиным способом // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. №6 С. 76-80. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22018783&ysclid=lwqaefpftn212359834> (дата обращения 03.05.2023).
9. Шароварников А.Ф., Воевода С.С., Макаров С.А., Шароварников С.А. Комплексное исследование свойств фторсинтетической пены для тушения нефтепродуктов // Пожаровзрывобезопасность. 2003. Т. 12. № 6 С. 39-42. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnoe-issledovanie-svoystv-ftorsinteticheskoy-peny-dlya-tusheniya-nefteproduktov?ysclid=lwqah818wi732420302> (дата обращения 03.05.2023).
10. Молчанов В.П., Бастриков Д.Л., Макаров С.А., Фещенко А.Н., Третьяков А.В., Апанасенко И.А. Требуемая кратность пены для подслоиногo тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в вертикальных стальных резервуарах // Пожарная безопасность. 2021. № 2 (103). С. 12-18. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46154523&ysclid=lwqak7sdnt731078757> (дата обращения 03.05.2023).
11. Фещенко А.Н., Макаров С.А., Молчанов В.П., Третьяков А.В., Воевода С.С. Определение кратности пленкообразующей пены для подслоиногo тушения пожаров горючих жидкостей // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 9. С. 65-73. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30622179&ysclid=lwqalh4tni687893761> (дата обращения 03.05.2023).
12. Андреев А.П., Молчанов В.П., Фещенко А.Н. Устойчивость огнетушащей пены с добавками специального назначения // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 4 (68). С. 42-49. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29117983&ysclid=lwqamf5pvn163890024> (дата обращения 03.05.2023).

References

1. Abduragimov I.M. Collection of articles on physics and chemistry of gorenje i explosion. - Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2011. - 159 p. - URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/02000016976> (date of application: 05.12.23).
2. Copyright certificate №. 1796206 USSR, IPC A62C 3/06. Device for extinguishing fires of flammable liquids in tanks: №. 4794821: application: 02/23/1990: publ: 02/23/1993/ Sharovarnikov A.F., Naumov V.V.; Applicant // Higher Engineering Fire Technical School. 3 p.: ill. - URL: https://searchplatform.rospatent.gov.ru/doc/SU1796206A1_19930223 (date of application: 05.12.23).
3. Starkov N.N. The effect of the cooling mechanism when extinguishing fires of liquids in a tank with solid carbon dioxide. // Fire and explosion safety. 2006. Vol. 15. №. 6. pp. 58-60. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9434129> (date of application: 05.12.23).
4. Voivode S.S. et al. The influence of fire factors on the extinguishing efficiency of film-forming foaming agents. Fire and explosion safety. 2012. Vol. 21. №. 10. pp. 63-65. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18059949&ysclid=lwqa364jah681597900> (date of application: 05.12.23).
5. Korolchenko D.A., Sharovarnikov A.F., Degaev E.N. Fire extinguishing efficiency of low-density foam. Scientific journal. Scientific review. 2015. №. 8. pp. 114-120. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23883465> (date of application: 05.12.23).
6. Komrakov P.V., Borisova T.A., Osipova P.A. "Evaluation of the effectiveness of extinguishing foams together with refrigerants and other gases", Materials of the VIII International scientific and practical conference "Fire extinguishing problems, technologies, innovations" March 17-18, Part 2, Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, M. 2022, pp. 84-89. – URL: <https://elibrary.ru/amqeuo?ysclid=lwqaatq3lj416913101> (date of application: 05.12.23).
7. Komrakov P.V., Gerasimova I.N., Grusheva T.G., Grigoryevskaya I.I. "The effect of extinguishing gases injected into foam on the effectiveness of extinguishing flammable liquids" Journal "Fires and Emergencies: Prevention and elimination" Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, M. 2022, pp. 12-18. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48859746> (date of application: 05.12.23).
8. Sharovarnikov S.A., Korolchenko D.A., Lyapin A.V. Extinguishing of multicomponent mixed fuels with fluorosynthetic foaming agents in a sublayer method // Fire and explosion safety. 2014. Vol. 23. №. 6 pp. 76-80. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22018783&ysclid=lwqaefpftn212359834> (date of application: 05.12.23).
9. Sharovarnikov A.F., Voevoda S.S., Makarov S.A., Sharovarnikov S.A. A comprehensive study of the properties of fluorosynthetic foam for extinguishing non-food products // Fire and explosion safety. 2003. Vol. 12. №. 6 pp. 39-42. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnoe-issledovanie-svoystv-ftorsinteticheskoy-peny-dlya-tusheniya-nefteproduktov?ysclid=lwqah818wi732420302> (date of application: 05.12.23).
10. Molchanov V.P., Batrikov D.L., Makarov S.A., Feshchenko A.N., Tretyakov A.V., Apanasenko I.A. Required foam multiplicity for sublayer extinguishing of oil and petroleum products fires in vertical steel tanks // Fire safety. 2021. №. 2 (103). pp. 12-18. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46154523&ysclid=lwqak7sdnt731078757> (date of application: 05.12.23).
11. Feshchenko A.N., Makarov S.A., Molchanov V.P., Tretyakov A.V., Voivode S.S. Determination of the multiplicity of film-forming foam for sublayer extinguishing of flammable liquids // Fire and explosion safety. 2017. Vol. 26. №. 9. pp. 65-73. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30622179&ysclid=lwqalh4tni687893761> (date of application: 05.12.23).
12. Andreev A.P., Molchanov V.P., Feshchenko A.N. Resistance of fire extinguishing foam with special purpose additives // Technosphere safety technologies. 2016. №. 4 (68). pp. 42-49. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29117983&ysclid=lwqamf5pvn163890024> (date of application: 05.12.23).

Информация об авторах

П.В. Комраков - кандидат технических наук, доцент

А.В. Мещеряков - кандидат технических наук

М.А. Гудков – кандидат технических наук
А.А. Гапеев – кандидат химических наук
Ю.Н. Коваль - кандидат биологических наук

Information about the author

P.V. Komrakov - Ph.D. of Engineering, Associate Professor
A.V. Meshcheryakov - Ph.D. of Engineering Sciences
A.A. Gapeev – Ph.D. of Chemical Sciences
M.A. Gudkov – Ph.D. of Engineering Sciences
Yu.N. Koval - Candidate of Biological Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.07.2024, одобрена после рецензирования 20.08.2024, принята к публикации 30.08.2024.

The article was submitted 27.07.2024, approved after reviewing 20.08.2024, accepted for publication 30.08.2024.

Научная статья
УДК 614.841.2
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.75.46.016

Исследование пожарной опасности электронных устройств для курения

Александр Сергеевич Горбунов¹

Александр Александрович Богданов²

^{1,2}*Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия,
<https://orcid.org/0000-0002-1971-3436>*

Автор ответственный за переписку: Александр Сергеевич Горбунов, gorbunovgps@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований пожарной опасности электронных устройств для курения. В современном мире наблюдается высокий рост потребителей электронных устройств для курения. Помимо своей популярности электронные устройства могут представлять опасность в виде возникновения пожаров. Целью исследования является получение полного представления о возможности возникновения пожара от электронных устройств для курения, а также о рисках и опасностях, связанных с данными устройствами. Результаты и выводы работы могут быть использованы для разработки мер по повышению безопасности использования и производства вейпов.

Ключевые слова: вейп, электронное устройство для курения, пожар, пожарная опасность, электронная сигарета

Для цитирования: Горбунов А.С., Богданов А.А. Исследование пожарной опасности электронных устройств для курения // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 176-184. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.75.46.016>.

Original article

INVESTIGATION OF THE FIRE HAZARD OF ELECTRONIC SMOKING DEVICES

Alexander S. Gorbunov¹

Alexander A. Bogdanov²

^{1,2}*Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia,
¹<https://orcid.org/0000-0002-1971-3436>*

Corresponding author: Alexander S. Gorbunov, gorbunovgps@mail.ru

Abstract. The article presents the results of research on the fire hazard of electronic smoking devices. In the modern world, there is a high growth in consumers of electronic smoking devices. In addition to their popularity, electronic devices can pose a danger in the form of fires. The aim of the study is to obtain a complete understanding of the possibility of fire from electronic smoking devices, as well as the risks and dangers associated with these devices. The results and conclusions of the work can be used to develop measures to improve the safety of using and production vapes.

Keywords: vaping, electronic smoking device, fire, fire hazard, electronic cigarette

For citation: Gorbunov A.S., Bogdanov A.A. Investigation of the fire hazard of electronic smoking devices // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2024. № 3 (34). С. 176-184. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.75.46.016>.

Введение

В современном обществе электронные устройства для курения (далее – ЭУДК) стали популярным альтернативным способом никотиновой зависимости. Они представляют собой электронные устройства, которые нагревают специальные жидкости, содержащие никотин, и создают аэрозоль, который пользователь вдыхает. Однако, помимо своей популярности, эти устройства также могут представлять опасность в виде возникновения пожаров [1].

Актуальность исследования обусловлена растущей популярностью электронных сигарет и вейпов, а также увеличением случаев пожаров, связанных с их использованием. В последние годы наблюдается рост числа инцидентов, когда электронные устройства для курения становятся причиной возникновения пожаров, что представляет опасность для здоровья и безопасности людей, а также имущества.

Исследование направлено на выявление возможных причин и механизмов возникновения горения от этих устройств, а также на разработку рекомендаций по предотвращению подобных инцидентов, что делает его актуальным и важным для общества.

Целью данной работы является исследование пожарной опасности от электронных устройств для курения.

В итоге, данная работа позволит получить полное представление о возможности возникновения пожара от электронных устройств для курения, а также о рисках и опасностях, связанных с этими устройствами. Результаты и выводы работы могут быть использованы для разработки мер по повышению безопасности этих устройств и защите общественного здоровья и жизни.

Объектом исследования в работе являются электронные устройства для курения, такие как электронные сигареты и вейпы.

Предметом исследования является пожарная опасность данных устройств, а также их потенциальные причины и механизмы возникновения горения.

Проблемой оценки безопасности электронных сигарет занимались многие авторы, как с точки зрения здравоохранения, так и с точки зрения пожарной безопасности [2-4].

В работе [5] указано о пожарной безопасности электронных парогенераторов и возможности безопасного использования рабочими на предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности.

Работы выполнены несколько лет назад, когда количество употребления электронных устройств для курения было в разы меньше, чем на сегодняшний день.

В работах имеются различные точки зрения на пожарную опасность электронных устройств для курения.

В работе [6] указано, что источниками зажигания, которые могут привести к пожару являются спираль (нагревательный элемент), тепловыделение в результате аварийного режима работы контактных элементов корпуса, тепловыделение при аварийном режиме работы аккумуляторной батареи.

В работе [7] рассмотрены показатели пожарной опасности рабочих и модельных жидкостей для вейпинга.

В данной работе будет проведен комплексный анализ пожарной опасности электронных устройств для курения, а также проведено моделирование пожароопасных процессов в данных устройствах.

Объекты исследования

В работе будут рассмотрены электронные устройства для курения на основе жидкостей. А именно POD-системы на картриджах и со съемными испарителями, одноразовые вейпы с подзарядкой и без, Бокс-мод со съемным аккумулятором.

POD-системы на картриджах с съемными испарителями представляют собой удобный и популярный вариант для вейпинга. Они предлагают возможность быстрой замены испарителя без необходимости менять весь картридж целиком.

Первое устройство для исследования POD-система на картридже «Voopoo VMATE Pod Kit», представлена на Рис.1 (образец 1).



Рис.1. Общий вид POD-системы «Voopoo VMATE Pod Kit»

Характеристики образца № 1: мощность устройства 17 Вт, емкость аккумулятора 900 mAh, li-ion, напряжение 3,2-4,2 В, имеется защита от перезаряда и перегрева, сопротивление спирали 0,7 Ом.

Следующее устройство для исследования, POD-система со съемным испарителем «Voopoo Drag Q Pod Kit», представлена на Рис.2 (образец № 2).



Рис.2. Общий вид POD-системы с съемным испарителем «Voopoo Drag Q Pod Kit»

Характеристики образца № 2: мощность устройства 17 Вт, емкость аккумулятора 900 mAh, li-ion, сопротивление спирали 0,3 Ом.

Образец № 3 – одноразовый вейп с подзарядкой «GANG XBOX 8000», представлен на Рис.3 (образец № 3).

Характеристики образца № 3: емкость аккумулятора 650 mAh, li-ion.



Рис.3. Одноразовый вейп с подзарядкой «GANG XBOX 8000»

Метод исследования

В первом сценарии исследования, аварийные режимы работы будут создаваться путем механического воздействия на литий-ионные батареи вейпов.

Механическое воздействие на литий-ионные аккумуляторы вейпов создается путем прокалывания, сжатия, давления на батареи, тем самым нарушая целостность её оболочки.

Второй сценарий создания аварийных режимов работы вейпов это – создание короткого замыкания литий-ионных аккумуляторов.

Короткое замыкание будет произведено путем соединения двух проводников от аккумуляторной батареи. В данном случае резко и многократно возрастает сила тока, что, согласно закону Джоуля-Ленца, приводит к значительному тепловыделению.

Следующим этапом исследования будет исследование жидкости вейпов. Исследование пожарной опасности жидкости для вейпов – это важная тема, требующая внимания и серьезного подхода. Жидкость для вейпов содержит различные компоненты, которые могут быть потенциально опасными при неправильном использовании или хранении.

Одним из основных элементов, способствующих пожарной опасности, является наличие горючих и легковоспламеняющихся веществ в составе жидкости для вейпов. При соприкосновении с открытым пламенем или источником тепла, эти вещества могут возгореться, что может привести к пожару или взрыву.

Проведение экспериментов и тестирований на пожарную опасность жидкости для вейпов поможет определить ее поведение в различных условиях и разработать рекомендации по безопасному использованию. Эти исследования позволят лучше понять риски, связанные с жидкостью для вейпов, и разработать соответствующие меры предосторожности.

Исследование будет проводиться с помощью аппарата для определения температуры вспышки в закрытом тигле ТВЗ-ЛАБ-01 по методике, указанной в документации на прибор [8].

Общий вид аппарата ТВЗ-ЛАБ-01 представлен на Рис.4.



Рис.4. Общий вид аппарата ТВЗ-ЛАБ-01

В данном эксперименте объектом исследования будет использована популярная жидкость для вейпов российского производителя марки «HotSpot» объемом 30мл (Рис.5).

Популярная рабочая жидкость среди пользователей электронных устройств для курения.



Рис.5. Жидкость «HotSpot Fuel 30мл Ананас-Ежевика»

Характеристика жидкости «HotSpot Fuel 30мл Ананас-Ежевика» представлена в Табл.1.

Табл.1. Характеристика «HotSpot Fuel 30мл Ананас-Ежевика»

Объем жидкости	30 мл
Крепость никотина	20 мг
Тип никотина	Солевой
Соотношение VG/PG	50/50
Вкус	Ананас с ежевикой

Данная жидкость соответствует требованиям ГОСТ Р 58109-2018 [9].

Результаты исследований

Для исследования механического воздействия на литий-ионный аккумулятор ЭУДК, было произведено несколько ударов по корпусу батареи. Необходимые инструменты для исследования: молоток, отвертка.

После первого удара отвертка пробила внешнюю оболочку батареи, тем самым вызвав химическую реакцию внутри аккумулятора, сопровождающуюся выделением белого дыма в небольшом количестве.

Спустя 16 секунд с начала эксперимента батарея начала нагреваться, а из проделанного отверстия продолжают выделяться продукты термического разложения в виде белого дыма. Спустя 57 секунд батарея достигла пиковой температуры (89,6°C). Корпус батареи оплавился (Рис.6).



Рис.6. Образец Voopoo VMATE Pod Kit

Следующий образец для проведения исследования «Voopoo Drag Q Pod Kit». Данный образец имеет большие габариты, большую емкость аккумулятора по сравнению с предыдущим. Батарея ЭУДК предварительно была заряжена до 100%.

Был произведен удар по корпусу батареи, сразу после удара произошел сильный выброс белого дыма и искр из проделанного отверстия батареи (Рис.7).



Рис.7. Образец № 2 после механического воздействия на аккумулятор

Следующим сценарием создания аварийного режима работы будет создание короткого замыкания литий-ионного аккумулятора «GANG XBOX 8000». Перед началом эксперимента устройство заряжается до 100%.

Аварийный режим работы данного устройства будет производиться путем замыкания литий-ионного аккумулятора, соединением проводов друг с другом, которые идут от клемм батареи. После их соединения цепь замыкается, в результате чего провода и клемма накаляются и приобретают ярко красный цвет, а из бака с ватой пропитанной жидкостью, начинает появляться белый дым. Наблюдается рост температуры.

Далее на 15 секунде от начала эксперимента произошло возгорание пропитанной жидкостью ваты, температура в момент воспламенения составляет 301°C (Рис.8).



Рис.8. Момент возникновения воспламенения ваты образца № 3

Результаты проведение испытание на пожарную опасность жидкости для вейпа по температуре вспышке в закрытом тигле приведены в Табл.2.

Табл.2. Результаты испытания

Система, VG/PG	Температура вспышки, °С
	Закрытый тигель
(50 % - 50 %)	104...119

Анализируя результаты испытания в закрытом тигле, можно сделать вывод что момент вспышки образца жидкости для вейпов наступил в диапазоне температур от 104 до 119°C.

Таким образом, анализируя данные, полученные в ходе исследования, можно сказать, что при температуре около 119°C над поверхностью жидкости для вейпа образуются пары и газы, способные вспыхивать от источника зажигания. Данная жидкость относится к горючей жидкости.

Обсуждение

Пожары и взрывы, вызванные вейпами, могут привести к серьезным последствиям, включая ожоги, отравления, повреждение имущества и ущерб здоровью пользователя. Поэтому важно соблюдать инструкции по безопасности при эксплуатации электронных устройств для курения, использовать только оригинальные комплектующие и жидкости от надежных производителей, а также избегать контакта с огнем и нагретыми поверхностями.

Для обеспечения безопасности на местах продажи вейпов и жидкостей необходимо строго контролировать качество товаров, а также проводить информационную работу среди

потребителей о правильном использовании электронных сигарет и мерах предотвращения пожаров и взрывов.

Важным аспектом является также соблюдение законодательства [9,10], регулирующего производство и использование вейпов. Необходимо строго соблюдать все законы и нормативные акты, а также уделять внимание запретам на использование вейпов в определенных зонах и территориях.

Заключение

В ходе экспериментов, направленных на изучение пожарной опасности вейпов и жидкостей для их заправки, были проведены разнообразные исследования, включая исследование химического состава жидкостей по паспортам продукции, изучение параметров нагрева устройств и моделирование возможных аварийных ситуаций.

Анализ данных позволил выявить потенциальные источники возгорания при использовании вейпов, что подчеркивает необходимость принятия мер для повышения безопасности пользователей.

Рекомендации, основанные на результатах исследования, могут включать в себя более строгие стандарты качества для производителей, предупреждающие меры для потребителей.

Список источников

1. Руди С.Ф., Дурмович Э.Л. Электронные системы доставки никотина: перегрев, пожары и взрывы //Tobacco control. – 2017. – Т. 26. – №. 1. – С. 10-18.
2. Бессонов Д.В., Алексеев С.Г., Барбин Н.М. Вейпинг-новый вызов безопасности //Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур (Safety 2017). Материалы III Международной конференции, Екатеринбург, 16-17 мая 2017 г. – 2017. – С. 18.
3. Муханова С.К., Шопабеева А.Р., Нургожин Т.С. Оценка безопасности электронных сигарет // Евразийский Союз Ученых. – 2018. – №. 11-3 (56). – С. 42-45.
4. Левенштейн Д.К., Миддлкауфф Х.Р. Опасности, связанные с электронными сигаретами: призыв к немедленному регулированию FDA // Американский журнал профилактической медицины. – 2017. – Т. 52. – №. 2. – С. 229-231.
5. Клименти Н.Ю., Керин Д.С. Снижение количества пожаров в домах при использовании электронных сигарет взамен табачных //Интеллектуальный и научный потенциал XXI века. – 2016. – с. 84-86.
6. Левтер Р.А. Исследование пожарной опасности устройств для генерации пара / Левтер Р.А., Бирюкова И.А., Таратанов Н.А.// Современные пожаробезопасные материалы и технологии: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Иваново, 11 декабря 2019 года. – Иваново. – С. 103-106.
7. Алексеев С.Г., Бессонов Д.В., Барбин Н.М. Пожарная опасность электронных сигарет. 1. Рабочие жидкости //Качество и жизнь. – 2019. – №. 1. – С. 64-69.
8. «Аппарат для определения температуры вспышки в закрытом тигле» ТВЗ-ЛАБ-01» // [Электронный ресурс]// <https://www.neft-standart.ru> (дата обращения 15.02.2024 г.).
9. ГОСТ Р 58109-2018. Жидкости для электронных систем доставки никотина. Общие технические условия от 17 апреля 2018 г. № 201 (дата обращения 21.02.2024 г.).
10. ТР ТС 004/2011. О безопасности низковольтного оборудования (с изменениями на 10 июня 2022 года).

References

1. Rudy S.F., Durmowicz E.L. Electronic nicotine delivery systems: overheating, fires and explosions // Tobacco control. – 2017. – Т. 26. – №. 1. – С. 10-18.
2. Bessonov D.V., Alekseev S.G., Barbin N.M. Vaping-a new security challenge //Safety problems of construction critical infrastructures (Safety 2017). Proceedings of the III International Conference, Yekaterinburg, May 16-17, 2017 – 2017. – p. 18.
3. Mukhanova S.K., Shopabaeva A.R., Nurgozhin T.S. Safety assessment of electronic cigarettes // Eurasian Union of Scientists. – 2018. – №. 11-3 (56). – Pp. 42-45.

4. Loewenstein D.K., Middlekauff H.R. Electronic cigarette device-related hazards: a call for immediate fda regulation // American journal of preventive medicine. – 2017. – Т. 52. – №. 2. – С. 229-231.
5. Klimenti N.Yu., Kerin D.S. Reducing the number of fires in homes when using electronic cigarettes instead of tobacco // The intellectual and scientific potential of the XXI century. - 2016. – pp. 84-86.
6. Levter R.A. Fire hazard research of steam generation devices / Levter R.A., Biryukova I.A., Taratanov N.A. // Modern fireproof materials and technologies: Collection of materials of the International scientific and practical conference, Ivanovo, December 11, 2019. – Ivanovo. – pp. 103-106.
7. Alekseev S.G., Bessonov D.V., Barbin N.M. Fire hazard of electronic cigarettes. 1. Working fluids // Quality and life. – 2019. – №. 1. – pp. 64-69.
8. "Apparatus for determining the flash point in a closed crucible "TVZ-LAB-01" // [Electronic resource]// <https://www.neft-standart.ru> (date of issue 02.15.2024).
9. GOST R 58109-2018. Liquids for electronic nicotine delivery systems. General technical conditions. dated April 17, 2018 No. 201 (accessed 02.21.2024).
10. TR CU 004/2011. About the safety of low-voltage equipment. (as amended on June 10, 2022).

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.07.2024, одобрена после рецензирования 20.08.2024, принята к публикации 30.08.2024.

The article was submitted 27.07.2024, approved after reviewing 20.08.2024, accepted for publication 30.08.2024.

Научная статья

УДК 614.8.

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.81.50.018

Прогнозирование пожароопасных свойств сжиженного природного газа с использованием симплекс–решетчатых планов Шеффе

Максим Андреевич Гудков¹

Артем Александрович Гапеев¹

Иван Александрович Тетерин¹

Юлия Николаевна Коваль²

Евгений Сергеевич Герасименко³

¹Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

²Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железнодорожск, Россия

³Воронежский институт МВД России, Воронеж, Россия

Автор ответственный за переписку: Максим Андреевич Гудков, gudokmaksim@yandex.ru

Аннотация. Настоящая работа посвящена проблеме обеспечения пожарной безопасности на объектах хранения, транспортировки и потребления сжиженного природного газа (СПГ). Так как основной характеристикой природного газа в качестве топлива является его энергетическая ценность, то оценка пожаровзрывоопасных свойств должна выполняться с учетом энергетического показателя. В качестве пожароопасных свойств рассмотрены избыточное давление взрыва и концентрационные пределы распространения пламени, а в качестве энергетического – число Воббе. Данные характеристики зависят от состава СПГ, который может меняться в пределах основных горючих компонентов: метан, этан, пропан, бутан. В этой связи, практический интерес представляет собой получение зависимостей, которые позволяют находить наиболее оптимальные свойства в зависимости от состава.

Для решения поставленной задачи использовался метод оптимизации эксперимента симплекс-решетчатый план Шеффе третьего порядка с центральной точкой. Для его использования был упрощен состав, что обоснованно процентным содержанием основных горючих компонентов и их вкладом в исследуемые показатели.

В результате получена система уравнений, позволяющая прогнозировать энергетические и пожароопасные свойства СПГ в зависимости от состава. Показан пример расчета.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, пожароопасные свойства, давление взрыва, число Воббе

Для цитирования: Гудков М.А., Гапеев А.А., Тетерин А.А., Сулименко В.А., Коваль Ю.Н., Герасименко Е.С. Прогнозирование пожароопасных свойств сжиженного природного газа с использованием симплекс–решетчатых планов Шеффе // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 185-195. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.81.50.018>.

Original article

PREDICTION OF FIRE HAZARD PROPERTIES OF LIQUEFIED NATURAL GAS USING SCHEFFE SIMPLEX LATTICE PLANS

*Maxim A. Gudkov*¹

*Artem A. Gapeev*¹

*Ivan A. Teterin*¹

*Yulia N. Koval*²

*Evgeniy S. Gerasimenko*³

¹Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

²Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

³Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russia

Corresponding author: Maxim A. Gudkov, gudokmaksim@yandex.ru

Abstract. This work is devoted to the problem of ensuring fire safety at facilities for storing, transporting and consuming liquefied natural gas (LNG). Since the main characteristic of natural gas as a fuel is its energy value, the assessment of fire and explosion hazard properties must be carried out taking into account the energy indicator. Excessive explosion pressure and concentration limits of flame propagation are considered as fire hazardous properties, and the Wobbe number is considered as energy properties. These characteristics depend on the composition of LNG, which can vary within the main combustible components: methane, ethane, propane, butane. In this regard, it is of practical interest to obtain dependencies that allow one to find the most optimal properties depending on the composition.

To solve the problem, the experiment optimization method was a simplex-lattice Scheffé design of the third order with a central point. For its use, the composition was simplified, which is justified by the percentage content of the main combustible components and their contribution to the studied indicators.

As a result, a system of equations was obtained that allows one to predict the properties of LNG depending on the composition. An example calculation is shown.

Keywords: liquefied natural gas, fire hazard properties, explosion pressure, Wobbe number

For citation: Gudkov M.A., Gapeev A.A., Teterin A.A., Sulimenko V.A., Koval Yu.N., Gerasimenko E.S. Prediction of fire hazardous properties of liquefied natural gas using simplex lattice Scheffe plans // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2024. № 3 (34). С. 185-195. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.81.50.018>.

Введение

Совершенствование пожарной безопасности объектов сжиженного природного газа (СПГ) ставит все больше задач научному сообществу. Взрыв СПГ обладает своими уникальными характеристиками из-за особенностей формирования газовоздушного облака и условий его хранения [1,2]. Статистика аварийных выбросов СПГ в Российской Федерации отсутствует, однако об опасности можно судить по авариям, которые произошли за рубежом. Сценарий развития подобных происшествий можно рассмотреть на примере аварии в Китае (Рис.1). Взрывоопасность природного газа отмечена иностранными исследователями [Ошибка! Источник ссылки не найден.-Ошибка! Источник ссылки не найден.].



Рис.1. Авария с выбросом сжиженного природного газа [5]

Недавние исследования показали необходимость учета компонентного состава СПГ при оценке его пожаровзрывоопасных свойств [7-9], что объективно и не противоречит положению нормативных документов. Так, в ГОСТ Р 57431— 2017 «Газ природный сжиженный. Общие характеристики» (ISO 16903:2015 «Petroleum and natural gas industries - Characteristics of LNG, influencing the design, and material selection») отмечается, что основным компонентом СПГ является метан, однако для вычисления характеристик СПГ не следует использовать параметры чистого метана. В работе [9] экспериментально продемонстрирована линейная зависимость изменения избыточного давления взрыва, при изменении компонентного состава сжиженного природного газа, что позволило разработать дифференцированную методику определения избыточного давления взрыва СПГ. В работе [7] также экспериментально доказана правомерность применения правила Ле Шателье для определения концентрационных пределов распространения пламени (КПР) смеси паров СПГ с воздухом. Однако данные характеристики определяют пожаровзрывоопасные свойства, а основная характеристика, которая демонстрирует энергетическую ценность СПГ, является число Воббе, которое позволяет оценить взаимозаменяемость горючих газов в технологических процессах [10].

Для различных марок СПГ в Российской Федерации закреплены соответствующие предельные значения числа Воббе согласно ГОСТ 34894—2022 «Межгосударственный стандарт. Газ природный сжиженный. «Технические условия». При поставке сжиженного природного газа в иностранные государства энергосодержание СПГ может иметь другие пределы. Великобритания применяет обедненный газ. При этом могут возникнуть проблемы взаимозаменяемости СПГ в случае поставки более «жирного» СПГ. Япония и другие страны Азиатско-Тихоокеанского региона предпочитают «жирный» газ, который в случае поставок «тощего» газа несложно получить путем подмешивания СУГ к СПГ [11].

Таким образом, для практических целей имеет большое значение разработки подхода, который позволяет находить оптимальные соотношения компонентов сжиженного природного

газа как для характеристик пожаровзрывобезопасности, так и для энергетических характеристик СПГ.

Для решения поставленной задачи воспользуемся симплекс - решетчатым планом Шеффе третьего порядка с центральной точкой.

Методика расчета и постановка задачи

Системы, свойства которых зависят только от соотношения компонентов и не зависят от количества смеси, а также от условий переработки и других факторов, называются системами «состав-свойство» или многокомпонентными смесями. В строительстве, химической технологии, литейном производстве часто приходится решать задачи подбора состава многокомпонентных смесей так, чтобы определенные свойства этих смесей принимали свои наилучшие возможные значения с учетом экономических требований.

Если известны теоретические зависимости свойств смеси и экономические требования, по которым производится выбор оптимального состава смеси, то формулируется задача оптимизации. Если же теоретических зависимостей свойств смеси и экономических критериев от компонентного состава нет, то на основе анализа априорной информации о характере этих зависимостей выбирается наиболее подходящий план экспериментов. Обычно в качестве таких планов выбираются симплекс-решетчатые композиционные и полуконпозиционные планы [12]. Поскольку, как правило, на начальном этапе нет исчерпывающей информации о характере интересующих зависимостей, то из практических соображений следует начинать с применения планов для построения наиболее простых моделей. Далее проводятся эксперименты по выбранному плану [13]. Таким образом, факторное пространство представляет собой правильный $(q - 1)$ – мерный симплекс, для которого выполняется соотношение (1):

$$\sum_{i=1}^q x_i = 1 \quad (1)$$

где: $x_i \geq 0$ – концентрация компонента;

q – количество компонентов.

Для упрощения задачи рассмотрим систему из наиболее содержательных горючих компонент СПГ: метан, этан, пропан (на практике при необходимости количество компонентов смеси может быть увеличено, однако для вопросов пожарной безопасности другие горючие компоненты могут быть включены в пропан). Кроме того, состав негорючих веществ не является постоянной величиной, из чего следует рассматривать наиболее пожаровзрывоопасный сценарий, который характеризуется наличием только горючих компонент.

Для рассматриваемой системы $q = 3$ (метан, пропан, этан) и будет представлять собой правильный симплекс – равносторонний треугольник, в котором каждая точка треугольника отвечает одному определенному составу тройной системы. Вершины треугольника соответствуют чистым веществам, стороны – двойным системам. Опустив из каждой вершины треугольника высоту, разделив каждую из них на десять равных по величине отрезков и проведя через полученные деления прямые, параллельные сторонам треугольника, получим треугольную сетку (Рис.2).

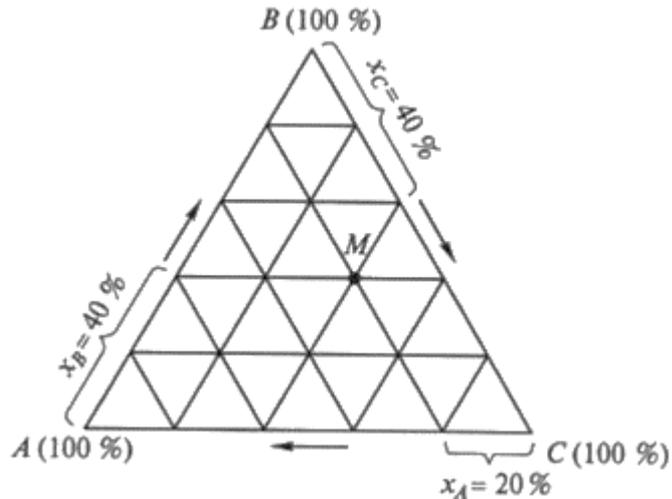


Рис.2. Концентрационный треугольник

Экспериментальные точки представляют $\{q, n\}$ – решетку на симплексе, где n – степень полинома, q – количество компонентов, по каждому из которых имеется $(n+1)$ - одинаково расположенных уровней $x_i=0, 1/n, 2/n, \dots, 1$ и берутся все возможные комбинации с такими значениями концентраций компонентов. Для кубической степени полинома ($n = 3$) будут следующие уровни: 0, 1/3, 2/3, 1, тогда матрица планирования примет вид (Табл.1):

Табл.1. – Матрица планирования для диаграмм «состав-свойство»

N	X ₁	X ₂	X ₃	УКПР	УВЗР	УВ
1	1,0	0	0	5,00	676	48,18
2	0	1	0	2,50	751	62,93
3	0	0	1	2,00	740	74,87
4	1/3	2/3	0	3,00	726	58,41
5	1/3	0	2/3	2,50	719	67,14
6	0	1/3	2/3	2,14	744	71,12
7	2/3	1/3	0	3,75	701	53,53
8	2/3	0	1/3	3,33	697	58,41
9	0	2/3	1/3	2,30	747	67,14
10	1/3	1/3	1/3	2,73	722	62,92

Как было сказано выше, основной энергетической характеристикой СПГ является число Воббе. Пожароопасные характеристики будем привязывать к данному показателю. Построим треугольный симплекс для чисел Воббе метана, этана и пропана. Значения чисел Воббе рассчитали с помощью онлайн калькулятора [14]. Для описания свойств выбираем следующие функции отклика: концентрационные пределы распространения пламени – УКПР; давление взрыва – УВЗР; число Воббе – УВ, которые будем описывать с помощью приведенного полинома, полученного с учетом нормированности сумм независимых переменных [15] (2):

$$y = \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \beta_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \beta_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + \gamma_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 (x_1 - x_2) + \gamma_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 (x_1 - x_3) + \gamma_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 (x_2 - x_3) + \gamma_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (2)$$

где $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}, \gamma_{12}, \gamma_{13}, \gamma_{23}, \gamma_{123}$ – коэффициенты полинома.

Результаты экспериментов обрабатываются методом наименьших квадратов и строятся математические модели.

Результаты и их обсуждение

Для установления вида степенной зависимости проводим дисперсионный анализ по каждой функции отклика:

Табл.2. – результаты дисперсионного анализа для функции отклика – КПР

Модель	SS Эффект	сс Эффект	MS Эффект	SS Ошибка	сс Ошибка	MS Ошибка	F	p	R-Кв.	R-Кв. Испр. зн
Лин-ая	6,942	2	3,471	0,475	7	0,067	51,101	0,000067	0,935899	0,917585
Квадратич	0,457610	3	0,152537	0,017867	4	0,004467	34,15000	0,002614	0,997591	0,994580
Спец. Кубич	0,0023	1	0,0023	0,0155	3	0,0051	0,450	0,5500	0,997	0,993
Куб-ая	0,015533	3	0,005178	0,0	0	0,00			1,0	1,00
Общее испр.зн.	7,417650	9	0,824183							

Табл.3. – результаты дисперсионного анализа для функции отклика – давление взрыва

Модель	SS Эффект	сс Эффект	MS Эффект	SS Ошибка	сс Ошибка	MS Ошибка	F	p	R-Кв.	R-Кв. Испр.зн
Лин-ая	5479,600	2	2739,800	0,500000	7	0,071429	38357,20	0,000000	0,999990	0,999883
Квадратич	0,043	3	0,014	0,457143	4	0,114286	0,13	0,940490	0,999991	0,999812
Спец. Кубич	0,076	1	0,076	0,380952	3	0,126984	0,60	0,495025	0,999993	0,999791
Куб-ая	0,381	3	0,127	0,000000	0	0,000000			1,000000	1,000000
Общее испр.зн	5480,100	9	608,900							

Табл.4. – результаты дисперсионного анализа для функции отклика – число Воббе

Модель	SS Эффект	сс Эффект	MS Эффект	SS Ошибка	сс Ошибка	MS Ошибка	F	p	R-Кв.	R-Кв. Испр. зн
Лин-ая	587,8544	2	293,9272	1,854637	7	0,264948	1109,377	0,000000	0,996855	0,995956
Квадратич	1,8415	3	0,6138	0,013181	4	0,003295	186,274	0,000094	0,999978	0,999950
Спец. Кубич	0,0003	1	0,0003	0,012883	3	0,004294	0,069	0,809399	0,999978	0,999934
Куб-ая	0,0129	3	0,0043	0,000000	0	0,000000			1,000000	1,000000
Общее испр.зн.	589,7091	9	65,5232							

На основании полученных результатов делаем заключение, что по выбранным функциям отклика, зависимость от соотношения компонентов имеет линейный вид:

$$y_{\text{КПР}} = 4,553 \cdot x_1 + 2,419 \cdot x_2 + 1,803 \cdot x_3 \quad (1)$$

$$y_{\text{ВЗР}} = 675,9 \cdot x_1 + 750,9 \cdot x_2 + 740,1 \cdot x_3 \quad (2)$$

$$y_{\text{В}} = 48,913 \cdot x_1 + 63,027 \cdot x_2 + 75,455 \cdot x_3 \quad (3)$$

Ниже представлены тернарные графики по уравнениям (1)-(3):

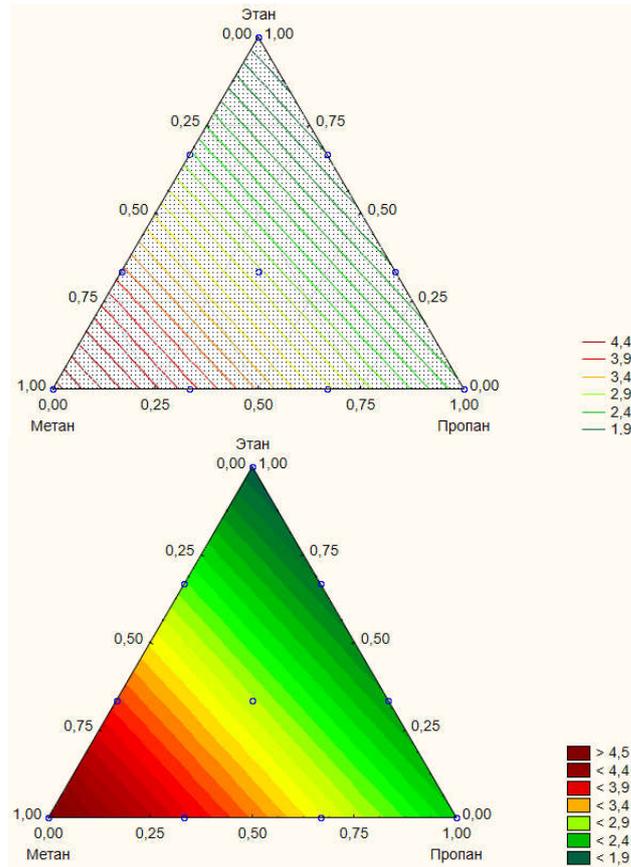
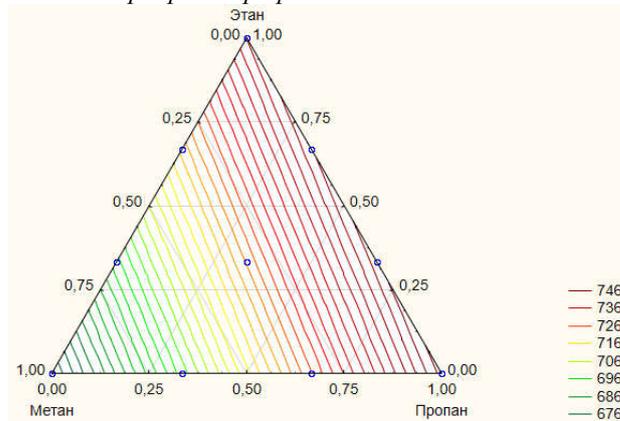


Рис.3. Тернарный график «состав-свойство» КПР



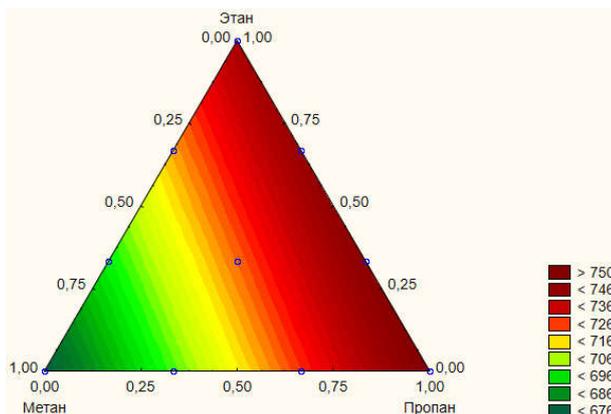


Рис.4. Тернарный график «состав-свойство» давление взрыва

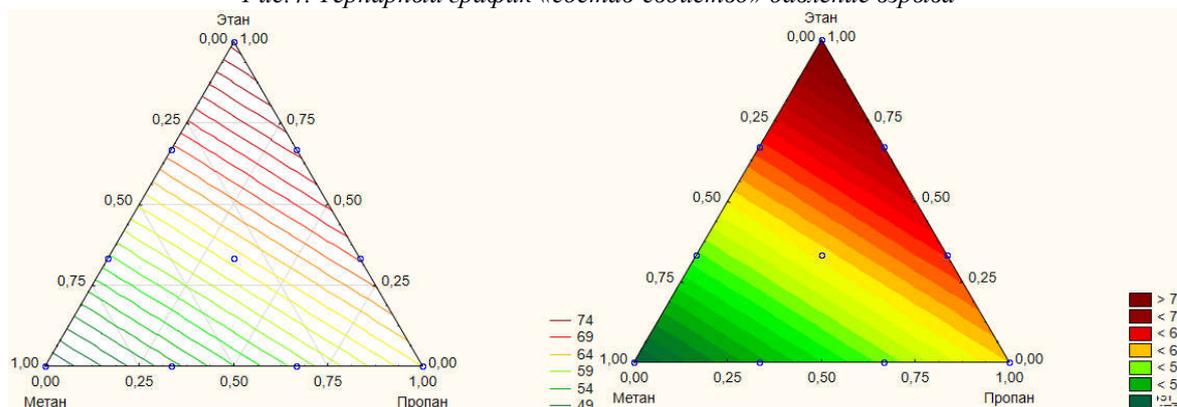


Рис.5. Тернарный график «состав-свойство» число Воббе

Используя выражения (1)-(3) получаем систему уравнений (4):

$$\begin{cases} y_1 = 4,553 \cdot x_1 + 2,419 \cdot x_2 + 1,803 \cdot x_3 \\ y_2 = 675,9 \cdot x_1 + 750,9 \cdot x_2 + 740,1 \cdot x_3 \\ y_3 = 48,913 \cdot x_1 + 63,027 \cdot x_2 + 75,455 \cdot x_3 \end{cases} \quad (4)$$

Полученная система (4) позволяет получать требуемые параметры, по выбранным функциям отклика, в зависимости от состава. Например, необходимо чтоб состав СПГ отвечал следующим требованиям: КПП=4,1; $P_{взр.}=700$; число Воббе = 53. Тогда (4) примет вид:

$$\begin{cases} 4.1 = 4,553 \cdot x_1 + 2,419 \cdot x_2 + 1,803 \cdot x_3 \\ 700 = 675,9 \cdot x_1 + 750,9 \cdot x_2 + 740,1 \cdot x_3 \\ 53 = 48,913 \cdot x_1 + 63,027 \cdot x_2 + 75,455 \cdot x_3 \end{cases} \quad (5)$$

Решив (5), получим $x_1=0.78$, $x_2=0.19$, $x_3=0.03$. При этом необходимо отметить, что указанные соотношения представлены в нормированном виде, который отвечает физическому, что не требует производить дополнительные пересчеты. Тогда получаем, что требуемые показатели будут достигнуты при соотношении метан 78 %, этан 19 %, пропан 3 %.

Вывод

На основании анализа состава сжиженного природного газа различных марок СПГ продемонстрировано изменение его пожаровзрывоопасных свойств в широких диапазонах, что отражает необходимость дифференциации требований пожарной безопасности к объектам, где обращается сжиженный природный газ. Показана необходимость поиска подхода, который бы позволял совмещать требования пожарной безопасности с требованиями к энергетическому показателю СПГ.

Использование системы уравнений «состав-свойство» позволило оценить пожаровзрывоопасные характеристики СПГ для различных составов, что дало возможность

дифференцированно подходить к вопросам обеспечения безопасности при эксплуатации и хранения сжиженного природного газа. Кроме того, применение симплекс-решетчатого плана Шеффе решило задачу поиска оптимального состава СПГ, который отвечает заданным параметрам пожаровзрывоопасных и энергетических свойств: избыточного давления взрыва, концентрационных пределов распространения пламени, число Воббе.

Список источников

1. Шебеко А.Ю. Численное моделирование распространения паров сжиженного природного газа при проливе на твердую поверхность // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2019. № 1. С. 36-41. DOI: 10.25257/FE.2019.1.36-41 EDN: AJEVEU.
2. Горбачев С.П., Медведков И.С. Изменение компонентного состава СПГ при его длительной транспортировке и хранении, методы кондиционирования // Газовая промышленность. 2018. № 10 (775). С. 56-66.
3. Ван К., Лю З., Цянь Х., Ли М. и Хуан П. (2016). Сравнительное исследование распространения взрывной волны при взрывах облаков паров природного газа в открытом пространстве на основе полномасштабного эксперимента и PHAST. Энергия и топливо, 30(7), 6143–6152.
4. Ян С., Сан В., Фан Цюй, Ян Я., Ся Цюй, Бао Ци. Исследование практической модели нагрузки при взрыве природного газа в неограниченном пространстве // Журнал по безопасности, науке и устойчивости, т. 3, выпуск 3, 2022, стр. 209-221.
5. Джонс Дж.К., 2015. Феноменология взрыва сжиженного природного газа. J. Loss Prev. Process Ind. 38, 233.
6. В Китае мощным взрывом разорвало цистерну со сжиженным газом // сайт. – URL: <https://rutube.ru/video/5144871479e63179d09e2cea984bd577/> (дата обращения: 05.05.24).
7. Тетерин И.А., Сулименко В.А., Гудков М.А., Гафарова Э.Б. Определение параметров взрыва смеси горючих газов. В сборнике: Гражданская оборона на страже мира и безопасности. Материалы VII Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны в Год 90-летия со дня образования Академии ГПС МЧС России. В 5-ти частях. Москва, 2023. С. 212-215. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50439068> (дата обращения: 05.03.24).
8. Тетерин И.А., Копылов П.С., Копылов С.Н. [и др.] Концентрационные пределы распространения пламени сжиженного природного газа // Безопасность труда в промышленности. – 2024. – № 1. – С. 21-27. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=60023243> (дата обращения: 05.03.24).
9. Тетерин И.А., Копылов П.С., Сулименко В.А., Копылов С.Н. Определение взрывоопасности сжиженного природного газа // Безопасность труда в промышленности. 2023. № 8. С. 70-76. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54398925> (дата обращения: 05.03.24).
10. Мальгинова Н.А., Корчагина Е.Н., Казарцев Я.В. Перспективы разработки стандартных образцов числа Воббе // Эталоны. Стандартные образцы. 2023. Т. 19, № 1. С. 5–15. - URL: <https://www.rmjournal.ru/jour/article/view/377/273> (дата обращения: 05.03.24).
11. Гречко А.Г. Определение качества и количества сжиженного природного газа на зарубежных приемных терминалах // Научный журнал Российского газового общества. 2023. № 4(40). С. 74–84. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54950933> (дата обращения: 05.03.24).
12. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. – Киев: Выща школа, 1989. – 326 с.
13. Ахмадиев Ф.Г., Гильфанов Р.М. Математическое моделирование и оптимизация «состав-свойство» многокомпонентных смесей // Известия КГАСУ, 2012, № 2 (20). - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=patadh> (дата обращения: 05.03.24).
14. Расчет теплотворной способности и числа Воббе природного газа при стандартных условиях // сайт. – URL: <https://gidrotgv.ru/raschet-teplotvornoj-sposobnosti-i-chisla-vobbe-prirodnogo-gaza-pri-standartnyh-usloviyah/> (дата обращения: 05.03.24).
15. Ахназарова С.А. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии [Текст]: [Учеб. пособие для хим.-технол. спец. вузов]. - Москва: Высш. школа, 1978. - 319 с.

References

1. Shebeko A.Yu. Numerical modeling of liquefied natural gas vapor spread when spilt on a hard surface. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya – Fire and emergencies: prevention, elimination*, 2019, no. 1 pp. 36–41. DOI:10.25257/FE.2019.1.36-41.
2. Gorbachev S.P., Medvedkov I.S. Changes of component composition of liquefied natural gas during its long-term transportation and storage, conditioning methods. *Gazovaia promyshlennost' – Gas industry*. 2018, №. 10(775), pp. 56–66 (in Russ.).
3. Wang K., Liu Z., Qian X., Li M., Huang P. (2016). Comparative Study on Blast Wave Propagation of Natural Gas Vapor Cloud Explosions in Open Space Based on a Full-Scale Experiment and PHAST. *Energy & Fuels*, 30(7), 6143–6152.
4. Yang S., Sun W., Fang Q., Yang Ya., Xia C., Bao Qi. Investigation of a practical load model for a natural gas explosion in an unconfined space // *Journal of Safety Science and Resilience*, Vol. 3, Issue 3, 2022, pp 209-221.
5. Jones J.C., 2015. The explosion phenomenology of liquefied natural gas. *Loss Prev. J. Process Ind.* 38, 233.
6. In China, a liquefied gas tank exploded with a powerful explosion // website. – URL: <https://rutube.ru/video/5144871479e63179d09e2cea984bd577/> (date of access: 05/05/24).
7. Teterin I.A., Sulimenko V.A., Gudkov M.A., Gafarova E.B. Determination of explosion parameters of a mixture of flammable gases. In the collection: Civil defense for the protection of peace and security. Materials of the VII International Scientific and Practical Conference dedicated to World Civil Defense Day in the Year of the 90th anniversary of the formation of the State Fire Service Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia. In 5 parts. Moscow, 2023. pp. 212-215. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50439068> (access date: 03/05/24).
8. Teterin I.A., Kopylov P.S., Kopylov S.N. [and others] Concentration limits of flame propagation of liquefied natural gas // *Labor safety in industry*. – 2024. – №. 1. – P. 21-27. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=60023243> (access date: 03.05.24).
9. Teterin I.A., Kopylov P.S., Sulimenko V.A., Kopylov S.N. Determination of the explosion hazard of liquefied natural gas // *Labor safety in industry*. 2023. №. 8. P. 70-76. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54398925> (access date: 03.05.24).
10. Malginova N.A., Korchagina E.N., Kazartsev Ya.V. Prospects for the development of standard samples of the Wobbe number // *Standards. Standard samples*. 2023. T. 19, №. 1. P. 5–15. - URL: <https://www.rmjournal.ru/jour/article/view/377/273> (date of access: 03.05.24).
11. Grechko A.G. Determination of the quality and quantity of liquefied natural gas at foreign receiving terminals // *Scientific Journal of the Russian Gas Society*. 2023. №. 4(40). pp. 74–84. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54950933> (access date: 03.05.24).
12. Voznesensky V.A., Lyashenko T.V., Ogarkov B.L. Numerical methods for solving construction and technological problems on a computer. – Kyiv: Vyshcha School, 1989. – 326 p.
13. Akhmadiev F.G., Gilfanov R.M. Mathematical modeling and optimization of “composition-property” of multicomponent mixtures // *News of KGASU*, 2012, №. 2 (20). - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=patadh> (access date: 03.05.24).
14. Calculation of the calorific value and Wobbe number of natural gas under standard conditions // website. – URL: <https://gidrotgv.ru/raschet-teplotvornoj-sposobnosti-i-chisla-vobbe-prirodnogo-gaza-pri-standartnyx-usloviyax/> (date of access: 03.05.24).
15. Akhnazarova S.A. Optimization of experiments in chemistry and chemical technology [Text]: [Textbook. manual for chemical technology. specialist. universities]. - Moscow: Higher. school, 1978. - 319 p.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.07.2024, одобрена после рецензирования 20.08.2024, принята к публикации 30.08.2024.

The article was submitted 27.07.2024, approved after reviewing 20.08.2024, accepted for publication 30.08.2024.

Научная статья
УДК 614.843.2
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.52.74.019

Расчетно-экспериментальное определение фактических значений максимальной пропускной способности напорных пожарных рукавов 20-метровой длины с различными диаметрами условного прохода

Сергей Олегович Куртов
Виталий Петрович Малый
Юлия Николаевна Коваль

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия
Автор ответственный за переписку: Сергей Олегович Куртов, kurtovsergej1983@yandex.ru

Аннотация. В настоящей работе приведены материалы, связанные с расчетно-экспериментальным определением максимальной пропускной способности различных рукавов пожарных напорных, используемых для перекачки воды из АЦ, обеспечивающих подвоз воды – в головную АЦ. Полученные результаты предполагается использовать в практической и учебной деятельности для составления работоспособных и эффективных насосно-рукавных систем, в том числе для корректировки (совершенствования) существующей методики расчета необходимого количества пожарных автомобилей для организации бесперебойной подачи воды к месту тушения пожара способом подвоза.

Ключевые слова: пропускная способность напорного пожарного рукава, насосно-рукавные системы, пожарный насос, гидравлическое сопротивление

Для цитирования: Куртов С.О., Малый В.П., Коваль Ю.Н. Расчетно-экспериментальное определение фактических значений максимальной пропускной способности напорных пожарных рукавов 20-метровой длины с различными диаметрами условного прохода // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 196-207. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.52.74.019>.

Original article

CALCULATION-EXPERIMENTAL DETERMINATION OF ACTUAL VALUES OF MAXIMUM CAPACITY OF PRESSURE FIRE HOSES OF 20-METER LENGTH WITH DIFFERENT DIAMETERS OF THE CONDITIONAL PASSAGE

Sergey O. Kurtov
Vitaly P. Maly
Yulia N. Koval

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia
Corresponding author: Sergey O. Kurtov, kurtovsergej1983@yandex.ru

Abstract. This paper presents materials related to the design and experimental determination of the maximum capacity of various fire pressure hoses used for pumping water from ACs providing water supply to the head AC. The obtained results are supposed to be used in practical and educational activities for the preparation of workable and effective pumping-hose systems, including the

adjustment (improvement) of the existing methodology for calculating the required number of fire trucks to organize an uninterrupted supply of water to the place of fire extinguishing by means of delivery.

Key words: capacity of pressure fire hose, pump-hose systems, fire pump, hydraulic resistance

For citation: Kurtov S.O., Maly V.P., Koval Yu.N. Calculation-experimental determination of actual values of maximum capacity of pressure fire hoses of 20-meter length with different diameters of the conditional passage // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2024. № 3 (34). С. 196-207. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.52.74.019>.

Введение

Анализ научных публикаций [1-6], связанных с необходимостью уточнения основных гидравлических характеристик (сопротивление и пропускная способность) рукавов пожарных напорных (далее РПН), выполненных из современных материалов, свидетельствует о высокой актуальности исследований, проводимых в данной области.

Для составления работоспособных и эффективных насосно-рукавных систем в практической деятельности требуются актуальные значения следующих параметров:

- Гидравлические сопротивления РПН выполненные из современных материалов;
- Максимальная пропускная способность отдельных РПН с различными диаметрами условного прохода;
- Гидравлические сопротивления отдельных элементов насосно-рукавных систем (рукавные разветвления с различными диаметрами условного прохода, переходные пожарные соединительные головки).

Авторским коллективом ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (далее Академия) разрабатывается проблема бесперебойной подачи воды к месту пожара способом подвоза. В рамках этой многозвенной работы проводится исследование затрат времени на многочисленные фрагменты организации подачи воды этим способом. Одним из актуальных фрагментов рассматриваемого способа организации бесперебойной подачи воды является сведения о фактическом значении максимальной пропускной способности (далее МПС) РПН диаметром 77 мм используемого для перелива воды из автоцистерн (далее АЦ), обеспечивающих подвоз воды – в головную АЦ. Перед авторами стоят два вопроса:

1. Обеспечивает ли поперечное сечение РПН с условным проходом Ду80 проход потока воды подаваемой пожарными насосами с номинальной подачей 40 л/с?
2. Требуется ли личному составу подразделений пожарной охраны тратить время и силы на прокладку дополнительного РПН (со второго напорного патрубка пожарного насоса к головной АЦ) для уменьшения времени на перелив воды из АЦ в АЦ?

Чтобы ответить на поставленные вопросы, авторами сформулирована задача по определению фактических значений максимальной пропускной способности современных РПН 20-метровой длины с различными диаметрами условного прохода на разработанной в Академии экспериментально-исследовательской установке [7].

При анализе нормативной и научной литературы не обнаружено наличие общепринятого определения гидравлического параметра «пропускной способности РПН» (максимальной пропускной способности РПН). Поэтому, исходя из собственного опыта и на основании анализа литературных источников, авторами статьи предложены следующие определения:

Пропускная способность рукава пожарного напорного – объемное количество огнетушащих веществ, проходящее через поперечное сечение РПН в единицу времени при различных значениях напорно-подачных характеристик пожарных насосов конкретных типов (л/с; м³/с; л/мин.; л/ч; м³/мин.; м³/ч).

Максимальная пропускная способность рукава пожарного напорного – максимальное значение объемного количества огнетушащих веществ, проходящих через

поперечное сечение РПН в единицу времени, при максимальных значениях напорно-подачных характеристик пожарных насосов конкретных типов (л/с; м³/с; л/мин.; л/ч; м³/мин.; м³/ч).

При организации на месте пожара бесперебойной подачи воды способом подвоза целесообразно уменьшить время, необходимое, в частности, для переподключения и перелива (заправки) водой головного автомобиля от автоцистерн, участвующих в цикле подвоза. Для этого необходимо использовать РПН с условным проходом Ду80 и пожарные насосы автомобилей при их максимальных значениях напорно-подачных характеристик. На основании вышеизложенного авторами в настоящей работе сформулирована и решена задача по экспериментальному определению фактических значений МПС РПН 20-метровой длины с различными диаметрами условного прохода.

Для проведения экспериментальных исследований использовали следующие материалы и оборудование, представленные в Табл.1.

Табл.1. Оборудование и материалы, используемые для проведения экспериментов

	<p>АЦ-6,0-40(5557), стоящая на вооружении учебной пожарно-спасательной части (далее УПСЧ) Академии с пожарным насосом НЦПН-40/100</p>
	<p>Измерительная рукавная вставка (далее ИРВ) с условным проходом Ду80 с электромагнитным расходомером МФ-80 (5.2.2) класс Б (0,1 м/имп), термопреобразователем ТПТ-1-3-100П-А4-Н-60/8 для измерения температуры огнетушащего вещества непосредственно в потоке – один из структурных элементов экспериментально-исследовательской установки [7] разработанной в Академии</p>
	<p>Вставка с электронным манометром СДВ-И-2,50-1,60-1,00 М(1,6)-4-20МА для измерения давления (далее МИД)</p>
	<p>Устройство (фиксатор свободного конца испытываемого РПН), выполненное авторами из стальной трубы с условным проходом Ду80, обеспечивающее безопасность (за счет исключения явления возбуждения неконтролируемых колебаний свободного конца РПН при истечении из него больших расходов воды) проводимых гидравлических исследований (далее УОБ)</p>

	<p>Тепловычислитель СПТ - 941.20 для вывода сигнала с электронного манометра для измерения давления</p>
	<p>Латексированный РПН с условным проходом Ду50</p>
	<p>Латексированный РПН с условным проходом Ду65</p>
	<p>Латексированный РПН с условным проходом Ду80</p>
	<p>Переходные пожарные соединительные головки (далее ГП) диаметрами «51×77» мм (для проведения гидравлических испытаний РПН диаметром 51 мм) и «66×77» мм (для проведения гидравлических испытаний РПН диаметром 66 мм)</p>

На Рис.1 представлена схема, использованная для определения фактического значения максимальной пропускной способности РПН 20 -метровой длины с условным проходом Ду80.

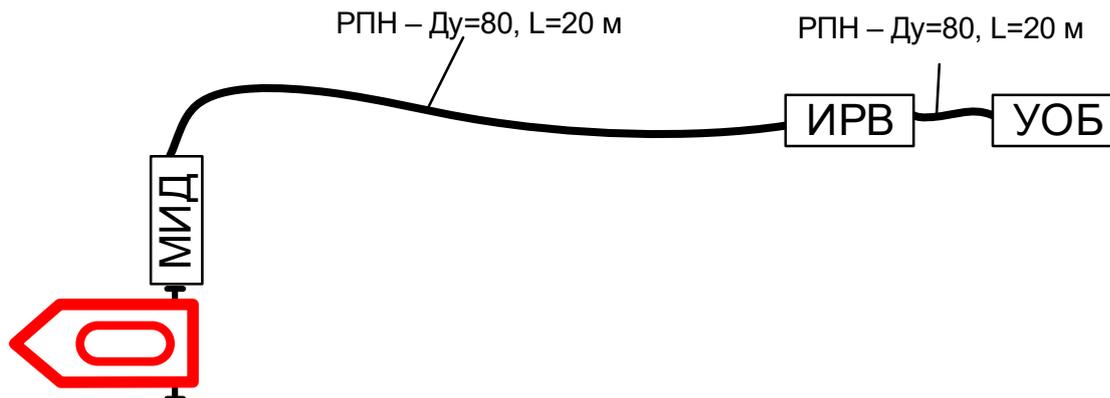


Рис.1. – Схема для определения фактического значения максимальной пропускной способности РПН 20-метровой длины с условным проходом Ду80

На Рис.2 представлена схема, использованная для определения фактического значения максимальной пропускной способности РПН 20-метровой длины с условными проходами Ду50 и Ду65.

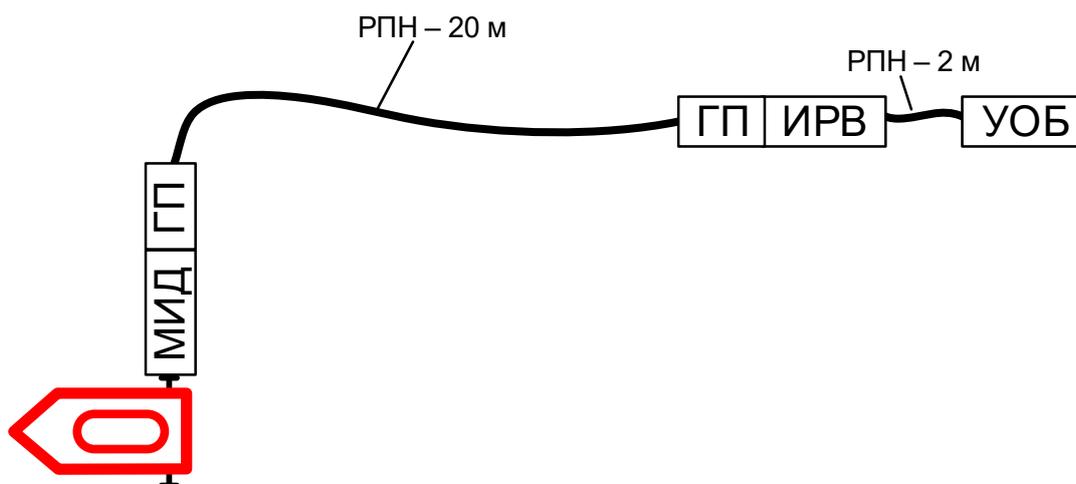


Рис.2. – Схема, для определения фактического значения максимальной пропускной способности РПН 20-метровой длины с условными проходами Ду50 и Ду65

Схема, представленная на Рис.2, отличается от схемы, изображенной на Рис.1, наличием двух ГП диаметрами 51×77 мм (для проведения гидравлических испытаний РПН диаметром 51 мм) и двух ГП 66×77 мм (для проведения гидравлических испытаний РПН диаметром 66 мм).

Основная часть

Испытания проводили при температуре окружающего воздуха +15°C и атмосферном давлении 755 – 768 мм рт. ст. Для проведения эксперимента использовали воду с температурой +12°C из городского водопровода, фиксацию показаний приборов осуществляли при помощи видеозаписи на смартфон с предусмотренной встроенной индикацией текущего времени каждого кадра с точностью до 1 с. В результате проведенных измерительных экспериментов получены фактические значения максимальной пропускной способности (далее МПС) РПН с условными проходами Ду50, 65, 80, которые приведены в Табл.2.

Табл.2. Значения максимальной пропускной способности РПН с условными проходами Ду50, 65, 80

Условный проход РПН Ду	Давление в начале (на входе) РПН, кгс/см ²	Экспериментальные значения расхода воды $Q_{\text{МПСэксп}}^{50,65,80}$ по РПН, м ³ /ч	Экспериментальные значения расхода воды $Q_{\text{МПСэксп}}^{50,65,80}$ по РПН, л/с
50	11,41	100,40	27,88
65	4,61	161,78	44,93
80	3,55	163,43	45,40

При определении расчетных значений МПС $Q_{\text{МПСрасч}}^{50,65,80}$ принимали полученные авторами научной публикации [8] табличные значения гидравлических сопротивлений РПН:

$$(S)_{\text{РПН}}^{50} = 0,12, (S)_{\text{РПН}}^{65} = 0,023, (S)_{\text{РПН}}^{80} = 0,0117.$$

Расчетные потери напора h_c в рукавных системах при турбулентном режиме течения жидкости определяют по формуле [9]:

$$h_c = n \times S_p \times Q^2, \text{ м} \quad (1)$$

где n – количество пожарных рукавов в рассматриваемой линии, шт.;

S_p – гидравлическое сопротивление одного пожарного рукава длиной 20 метров в зависимости от типа и диаметра, $((\text{с/л})^2 \times \text{м})$ [8].

Q – объемное количество огнетушащих веществ, проходящих по рассматриваемой рукавной линии в единицу времени, л/с.

По формуле (1) определяем расчетное значение максимальной пропускной способности РПН с условным проходом Ду50 $Q_{\text{МПСрасч}}^{50}$:

$$Q_{\text{МПСрасч}}^{50} = \sqrt{\frac{h_c}{S_{\text{РПН}}^{50}}} = \sqrt{\frac{114,1}{0,12}} = 30,8, \text{ л/с}$$

Рассчитаем $Q_{\text{МПС}}^{65}$ по формуле (1) значения максимальной пропускной способности РПН с условным проходом Ду65:

$$Q_{\text{МПСрасч}}^{65} = \sqrt{\frac{h_c}{S_{\text{РПН}}^{65}}} = \sqrt{\frac{46,1}{0,023}} = 44,7, \text{ л/с}$$

Выражаем $Q_{\text{МПСрасч}}^{80}$ из формулы 1 для получения расчетного значения максимальной пропускной способности РПН с условным проходом 80:

$$Q_{\text{МПС}}^{80} = \sqrt{\frac{h_c}{S_{\text{РПН}}^{80}}} = \sqrt{\frac{35,5}{0,0117}} = 55,1, \text{ л/с}$$

В Табл.3 приведены полученные авторами экспериментальные $Q_{\text{МПСэксп}}^{50,65,80}$ и расчетные $Q_{\text{МПСрасч}}^{50,65,80}$ значения максимальной пропускной способности РПН с условными проходами Ду50, 65, 80 для соответствующих их гидравлических сопротивлений $(S)_{\text{РПН}}^{50,65,80}$, $(\text{с/л})^2 \times \text{м}$.

Табл.3. Экспериментальные и расчетные значения максимальной пропускной способности РПН с условными проходами Ду50, 65, 80

Условный проход РПН, Ду	$(S)_{\text{РПН}}^{50,65,80}$, $(\text{с/л})^2 \times \text{м}$	Экспериментальные значения расхода воды $Q_{\text{МПСэксп}}^{50,65,80}$ по РПН, л/с	Расчетные значения расхода воды $Q_{\text{МПСрасч}}^{50,65,80}$ по РПН, л/с
50	0,1200	27,88	30,80
65	0,0230	44,93	44,70
80	0,0117	45,40	55,10

Для удобства проведения сравнительного анализа построили график зависимостей расчетного $Q_{\text{МПСрасч}}^{50,65,80}$ и экспериментального $Q_{\text{МПСэксп}}^{50,65,80}$ значений МПС от гидравлических сопротивлений $(S)_{\text{РПН}}^{50,65,80} ((\text{с/л})^2 \times \text{м})$ РПН Ду50,65,80 Рис.3.

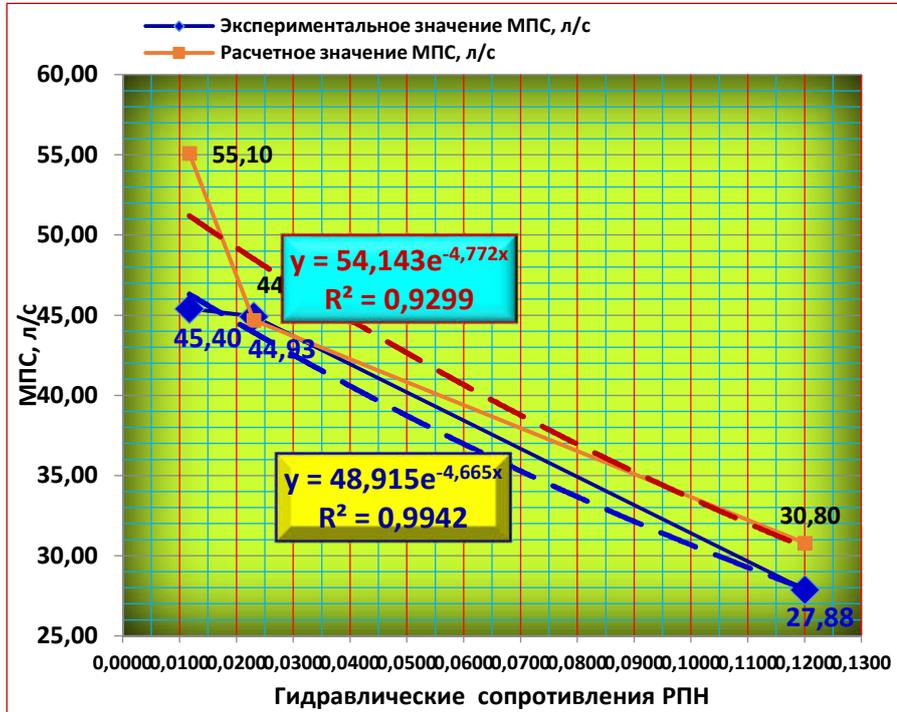


Рис.3. – Экспоненциальные аппроксимации расчетных и экспериментальных данных

Сравнение компьютерных экспоненциальных аппроксимаций экспериментальных и расчетных данных показывает их довольно большую близость по обеим константам А и В (Табл.4):

$$(Q_{\text{МПС}} = A \times (\exp(-B \times S_{\text{РПН}}))$$

Табл.4. Значения экспоненциальных аппроксимаций расчетных и экспериментальных данных

А		В	
Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент
54,143	48,915	4,772	4,665

Относительные погрешности аппроксимирующих коэффициентов δA и δB составляют:

$$\delta A = \frac{|54,143 - 48,915|}{\frac{54,143 + 48,915}{2}} \times 100\% = 10,1\%$$

$$\delta B = \frac{|4,772 - 4,665|}{\frac{4,772 + 4,665}{2}} \times 100\% = 2,3\%$$

Степенные аппроксимации расчетных и экспериментальных данных максимальных значений пропускной способности РПН представлены на Рис.4.

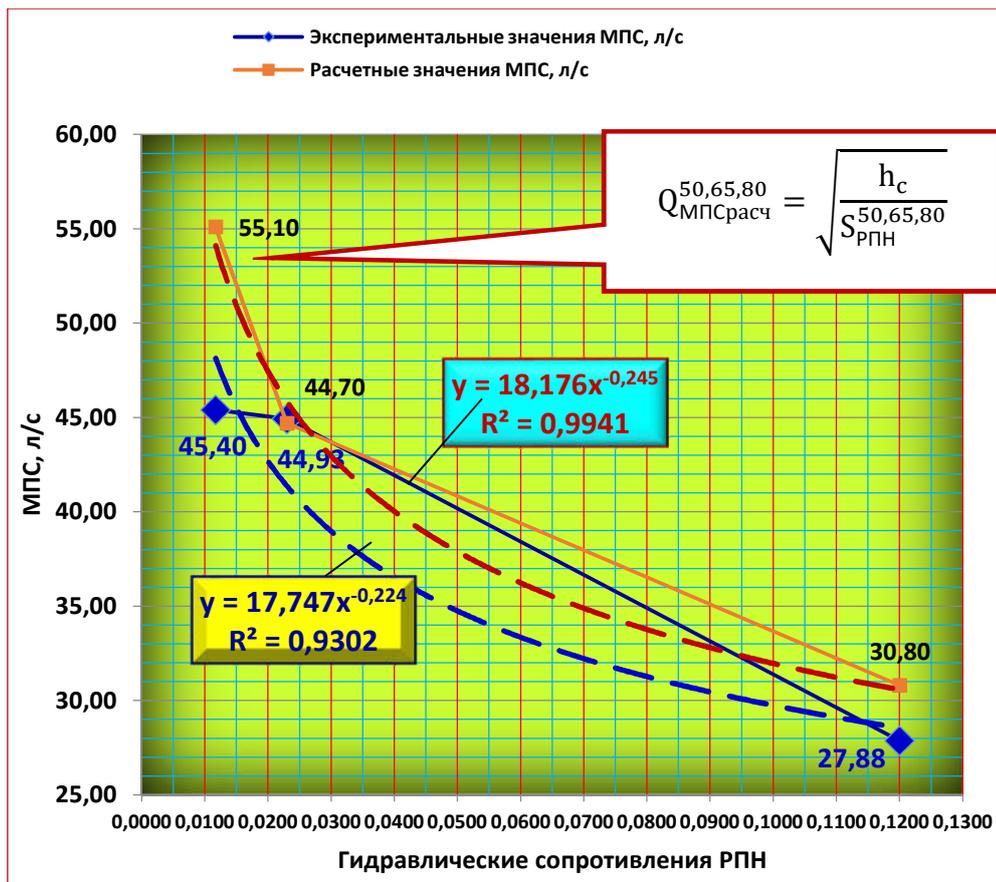


Рис.4. – Степенные аппроксимации расчетных и экспериментальных данных

Сравнение компьютерных степенных аппроксимаций экспериментальных и расчетных данных показывает их довольно большую близость по обеим константам Табл.5.

$$Q_{МПС} = A \times (S_{РПН})^{-B}$$

Табл.5. Значения степенных аппроксимаций расчетных и экспериментальных данных

А		В	
Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент
18,176	17,747	-0,245	-0,224

Относительные погрешности δA и δB (в процентах) аппроксимирующих коэффициентов А и В составляют:

$$\delta A = \frac{|18,176 - 17,747|}{\frac{18,176 + 17,747}{2}} \times 100\% = 2,4\%$$

$$\delta B = \frac{|0,245 - 0,224|}{\frac{0,245 + 0,224}{2}} \times 100\% = 8,9\%$$

Видно, что формальные «достоверности R» практически одинаковы для обеих функций получения тренда и имеют довольно большие значения 0,93÷0,99. Однако больший физический смысл имеет степенная аппроксимация расчетно-теоретической зависимости:

$$Q_{МПС}^{расч} = A \times (S_{РПН})^{-B}$$

$$Q_{МПС}^{50,65,80} = \sqrt{\frac{h_c}{S_{РПН}^{50,65,80}}} = (h_c)^{0,5} \times (S_{РПН}^{50,65,80})^{-0,5} \sim A \times (S_{РПН})^{-B}$$

При сравнении расчетных и экспериментальных значений максимальной пропускной способности РПН с диаметром условного прохода Ду50 ($(S)_{\text{РПН}}^{50} = 0,12$), указанных в таблице, авторы установили, что некоторое несовпадение расчетных (30,80 л/с) и экспериментальных (27,88 л/с) значений МПС может быть объяснено неучетом гидравлических сопротивлений ГП диаметрами 51×77 мм [10], а также отсутствием уточненных значений гидравлических сопротивлений современных используемых РПН. Заметим, что до настоящего времени результатов научных исследований в области определения гидравлических сопротивлений ГП различных диаметров не опубликовано.

При сравнении расчетных и экспериментальных значений максимальной пропускной способности РПН с диаметром условного прохода Ду65, указанных в Табл.3, авторы отметили практически полное совпадение расчетных (44,70 л/с) и экспериментальных (44,93 л/с) значений (максимальная разница составила 0,23 л/с), что может говорить о достоверности полученных в ходе экспериментов результатов.

При сравнении расчетных и экспериментальных значений МПС РПН с диаметром условного прохода Ду80, указанных в Табл.3, авторы пришли к выводу, что максимальной подачи НЦПН-40/100 не достаточно для определения истинного значения МПС РПН с условным проходом Ду80.

Также в ходе анализа полученных при проведении эксперимента значений установлено, что при использовании одного магистрального пожарного рукава с условным проходом Ду80, с целью заправки водой головного автомобиля от другой «заправочной» АЦ через устройства, не имеющие значительных гидравлических сопротивлений [11] (Рис.4), – максимальной пропускной способности РПН достаточно для работы НЦПН-40/100 при близких значениях максимальной его подачи.



Рис.4. – Способы заправки водой головного автомобиля от АЦ по одному магистральному рукаву через устройства, не имеющие значительных гидравлических сопротивлений: а – при наличии крышки (люка), б – при наличии патрубка (сухотруба) с муфтовой пожарной соединительной головкой

Следовательно, при организации бесперебойной подачи воды на месте тушения пожара способом подвоза с использованием пожарных насосов с номинальной подачей 40 л/с прокладывать дополнительную рукавную линию (от второго патрубка пожарного насоса) для перелива воды в головную АЦ не целесообразно. Это позволит авторам предложить в дальнейшем провести корректировку существующих методов расчета необходимого количества пожарных автомобилей для организации бесперебойной подачи огнетушащих

веществ такими способами, как подвоз и перекачка воды на месте пожара, а также использовать напорные пожарные рукава меньшего диаметра для подачи современных пожарных стволов с большими расходами.

Список источников

1. Логинов В.И., Ртищев С.М., Козырев В.Н. Результаты исследований по определению критериев оценки пропускной способности напорных пожарных рукавов [и др.] // Актуальные вопросы пожарной безопасности / Редакционная коллегия: Матюшин А.В., Порошин А.А., Хасанов И.Р., Цариченко С.Г., Копылов С.Н., Логинов В.И. – Москва: Всероссийский ордена "Знак Почета" научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2014. – С. 313-336. – EDN TRXTMT.
2. Ольховский И.А. Технология применения рукавных систем с пропускной способностью более 100 л/с для тушения пожаров на объектах энергетики: специальность 05.26.03 "Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ольховский Иван Александрович. – Москва, 2014.
3. Арканов П.В., Степанов О.И., Лемеш В.Л., Савушкин А.Н. Выявление фактической пропускной способности пожарных рукавов эмпирическим методом // Техносферная безопасность. – 2014. – № 2(3). – С. 2-7. – EDN SHCDUJ.
4. Малютин О.С. Проблема гидравлического расчета насосно-рукавных систем в пожарной тактике / Малютин О.С., Васильев С.А. // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2018. – № 4(11). – С. 67-72. – EDN YRSCPJ.
5. Малый В.П.О необходимости уточнения гидравлических характеристик, поступающих в подразделения МЧС России новых пожарных рукавов / Малый В.П., Куртов С.О., Яровой В.Ю. // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2022. – № 1(24). – С. 54-61. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.84.93.008. – EDN IUCOPT.
6. Нелюбов В.Н. Критический анализ способов расчета подачи огнетушащих веществ в перекачку на большие расстояния / Нелюбов В.Н. // Пожарная безопасность. – 2024. – № 2(115). – С. 23-30. – DOI 10.37657/vniipro.pb.2024.115.2.002. – EDN SJUPCH.
7. Малый В.П., Куртов С.О., Лунев А.С. Обоснование выбора состава экспериментально-исследовательской установки для измерения теплогидравлических параметров элементов насосно-рукавных систем [и др.] // Южно-Сибирский научный вестник. – 2024. – № 2(54). – С. 60-68. – DOI 10.25699/SSSB.2024.54.2.006.
8. Навроцкий О.Д., Михалев Р.Н., Грачулин А.В. Гидравлическое сопротивление напорных пожарных рукавов [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2022. – Т. 6, № 1. – С. 74-83. – DOI 10.33408/2519-237X.2022.6-1.74. – EDN SJOMOD.
9. Абросимов Ю.Г., Жучков В.В., Болдырев Е.Н. и др. Гидравлика: Учебник – М.: АГПС МЧС России, 2017.
10. Куртов С.О. Аналитическое обоснование необходимости экспериментального определения гидравлических сопротивлений пожарных трехходовых разветвлений и переходных соединительных головок различных диаметров / Куртов С.О., Малый В.П., Макаров В.М. // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. – 2024. – № 1(13). – С. 10-13. – DOI 10.34987/2712-9233.2024.81.31.002. – EDN JMVKGJ.
11. Куртов С.О. Критический анализ способов бесперебойной подачи воды к месту пожара / Куртов С.О., Трояк А.Ю., Малый В.П. // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 21 апреля 2023 года. – Железногорск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирская пожарно-спасательная академия" Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий", 2023. – С. 97-101. – EDN PBNWVS.

References

1. Loginov V.I., Rtishchev S.M., Kozyrev V.N. Results of research on determining criteria for assessing the capacity of pressure fire hoses [et al.] // Current issues of fire safety / Editorial board: Matyushin A.V., Poroshin A.A., Khasanov I.R., Tsarichenko S.G., Kopylov S.N., Loginov V.I. - Moscow: All-Russian Order of the Badge of Honor Research Institute of Fire Defense of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, 2014. - P. 313-336. - EDN TRXTMT.
2. Olkhovsky I.A. Technology of application of hose systems with a capacity of more than 100 l/s for fire extinguishing at power facilities: specialty 05.26.03 "Fire and industrial safety (by branches)": dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Olkhovsky Ivan Alexandrovich. - Moscow, 2014.
3. Arkanov P.V., Stepanov O.I., Lemesh V.L., Savushkin A.N. Identification of the actual throughput capacity of fire hoses by an empirical method // Technosphere safety. - 2014. - № 2 (3). - P. 2-7. - EDN SHCDUJ.
4. Malyutin O.S. The problem of hydraulic calculation of pump-and-sleeve systems in fire tactics / Malyutin O.S., Vasiliev S.A. // Siberian Fire Rescue Bulletin. - 2018. - № 4(11). - C.67-72. - EDN YRSCPJ.
5. Malyi V.P. On the need to clarify the hydraulic characteristics of the new fire hoses coming to the units of the Ministry of Emergency Situations of Russia / Malyi V.P., Kurtov S.O., Yarovoy V.Yu. // Siberian Fire and Rescue Bulletin. - 2022. - № 1(24). - C.54-61. - DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.84.93.008. - EDN IUCOPT.
6. Nelyubov V.N. Critical analysis of the methods of calculation of the fire extinguishing substances supply to the long-distance pumping / Nelyubov V.N. // Fire safety. - 2024. - № 2(115). - C.23-30. - DOI 10.37657/vniipo.pb.2024.115.2.002. - EDN SJUPCH.
7. Maly V.P., Kurtov S.O., Lunev A.S. Justification of the choice of the composition of the experimental research setup for measuring thermal-hydraulic parameters of elements of pump-hose systems [et al.] // South Siberian Scientific Bulletin. - 2024. - № 2 (54). - P. 60-68. - DOI 10.25699 / SSSB.2024.54.2.006.
8. Navrotsky O.D., Mikhalev R.N., Grachulin A.V. Hydraulic resistance of pressure fire hoses [et al.] // Bulletin of the University of Civil Defense of the Ministry of Emergency Situations of Belarus. - 2022. - Vol. 6, № 1. - P. 74-83. - DOI 10.33408/2519-237X.2022.6-1.74. - EDN SJOMOD.
9. Abrosimov Yu.G., Zhuchkov V.V., Boldyrev E.N. et al. Hydraulics: Textbook - M: AGPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2017.
10. Kurtov S.O. Analytical substantiation of the necessity of the experimental determination of the hydraulic resistance of the fire three-way branching and transition connecting heads of different diameters / Kurtov S.O., Maly V.P., Makarov V.M. // Actual problems of safety in the technosphere. - 2024. - № 1(13). - C.10-13. - DOI 10.34987/2712-9233.2024.81.31.002. - EDN JMVKGJ.
11. Kurtov S.O. Critical analysis of the methods of uninterrupted water supply to the place of fire / Kurtov S.O., Troyak A.Y., Maly V.P. // Actual problems of fire safety and protection from emergency situations: Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, April 21, 2023. - Zheleznogorsk: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian Fire and Rescue Academy" of the State Fire Fighting Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Natural Disasters", 2023. - C.97-101. - EDN PBNWVS.

(USSR), Candidate of Technical Sciences (USSR), associate professor (USSR)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.07.2024, одобрена после рецензирования 21.08.2024, принята к публикации 31.08.2024.

The article was submitted 28.07.2024, approved after reviewing 21.08.2024, accepted for publication 31.08.2024.

Научная статья
УДК 622.8
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.89.41.020

Моделирование процесса формирования и скопления взрывоопасных газов в рабочих зонах угольных шахт

*Игорь Леонидович Скрипник*¹

*Дмитрий Вячеславович Савельев*²

*Татьяна Тимофеевна Каверзнева*³

*Сергей Григорьевич Ивахнюк*⁴

^{1,2,4}Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия,

¹<https://orcid.org/0000-0001-6319-5413>

³<https://orcid.org/0000-0002-7423-4892>

⁴<https://orcid.org/0000-0003-4651-8211>

Автор ответственный за переписку: Игорь Леонидович Скрипник,
ig.skripnick2011@yandex.ru

Аннотация. Представлены основы методологического подхода к решению проблемы создания безопасных условий ведения подземных горных работ на основе моделирования процесса формирования и скопления метана в рабочих зонах угольных шахт, с учетом требований нормативных документов в предметной области. Разработка метода осуществлялась с использованием данных натуральных (прикладных/практических) экспериментов полученных на нескольких шахтах Печорского угольного бассейна. Определение мест скопления метана, осуществлялось в прикладных программных комплексах FlowVision и SolidWorks Flow Simulation. Сравнительный анализ полученных результатов моделирования в упомянутых выше программах позволяет сделать вывод о практической сходимости полученных результатов при задании идентичных граничных и начальных условий на входе в модель. По результатам полученных данных высказано предположение о влиянии на процесс формирования мест скопления метана горношахтного оборудования.

Ключевые слова: моделирование, взрывоопасные газы, шахта, метан, смесь, газ, программный комплекс

Для цитирования: Скрипник И.Л., Савельев Д.В., Каверзнева Т.Т., Ивахнюк С.Г. Моделирование процесса формирования и скопления взрывоопасных газов в рабочих зонах угольных шахт // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 208-217. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.89.41.020>.

Original article

MODELING THE PROCESS OF FORMATION AND ACCUMULATION OF EXPLOSIVE GASES IN WORKING AREAS OF COAL MINES

*Igor L. Skripnik*¹

*Dmitry V. Savelyev*²

*Tatyana T. Kaverzneva*³

*Sergey G. Ivakhnyuk*⁴

^{1,2,4} Saint - Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

³ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

¹<https://orcid.org/0000-0001-6319-5413>

³<https://orcid.org/0000-0002-7423-4892>

⁴<https://orcid.org/0000-0003-4651-8211>

Corresponding author: Igor L. Skripnik, ig.skripnick2011@yandex.ru

Abstract. The fundamentals of a methodological approach to solving the problem of creating safe conditions for underground mining are presented based on modeling the process of formation and accumulation of methane in working areas of coal mines, taking into account the requirements of regulatory documents in the subject area. The development of the method was carried out using data from field (applied/practical) experiments obtained at several mines of the Pechora coal basin. Determination of methane accumulation locations was carried out using the FlowVision and SolidWorks Flow Simulation application software systems. A comparative analysis of the obtained simulation results in the above-mentioned programs allows us to conclude that the results obtained are practically convergent when identical boundary and initial conditions are specified at the input to the model. Based on the results of the data obtained, it was suggested that mining equipment influences the process of formation of methane accumulation sites.

Keywords: modeling, explosive gases, mine, methane, mixture, gas, software package

For citation: Skripnik I.L., Savelyev D.V., Kaverzneva T.T., Ivakhnyuk S.G. Modeling the process of formation and accumulation of explosive gases in working areas of coal mines // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 3 (34). С. 208-217. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.89.41.020>.

Введение

Угольные шахты относятся к категории опасных производственных объектов, в которых наибольшую опасность представляют взрывы метановоздушных (МВС) и/или пылеметановоздушных смесей. При этом характерной особенностью подобных аварий являются последствия в виде групповых несчастных случаев, характеризующиеся большим количеством смертельно и тяжело травмированных работников и сопровождающиеся значительным материальным ущербом [1].

Вследствие увеличения опасности ведения горных работ по газовому фактору, вызванного ростом глубины разработки, темпов добычи полезных ископаемых, увеличением газоносности пластов и как следствие газообильности выработок и т.д., возникает необходимость в разработке специальных дополнительных мероприятий по обеспечению безопасности горных выработок по газовому фактору. Эти мероприятия должны быть основаны на заблаговременной оценке мест возможных локальных скоплений метана и их контроле для обеспечения безопасных условий труда в рабочих зонах горных выработок (РЗГВ). Актуальность разработки подобных дополнительных мероприятий подтверждается анализом материалов расследований несчастных случаев, связанных с взрывами в угольных шахтах. Согласно данным из ежегодных отчетов Ростехнадзора, одной из основных причин взрывов МВС являлось формирование не выявленных ранее скоплений метана [1,2].

Анализ статистических данных взрывов метана в шахтах России за последние 15 лет показал, что подавляющее большинство из них произошли в выработанном пространстве (Рис.1).

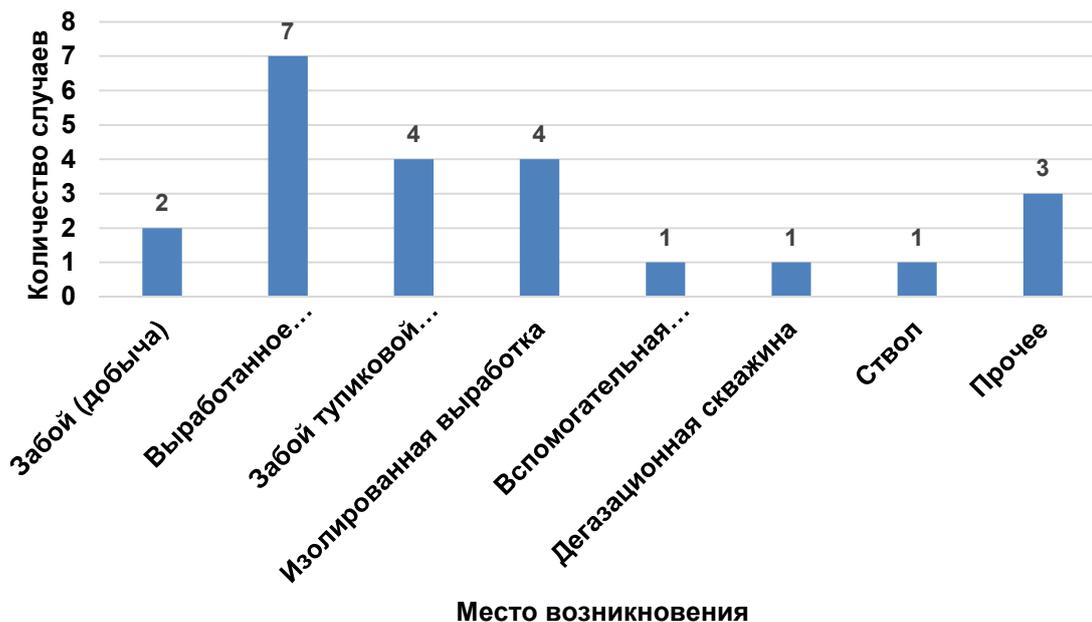


Рис.1. Количество случаев взрыва МВС на угольных шахтах в России за 15 лет

В связи с внедрением риск-ориентированного подхода необходимо учитывать возможность образования локальных зон с повышенной концентрацией метана, как источника опасности. Для этого, целесообразно провести оценку формирования скопления метана и его взрывоопасности вследствие возникновения МВС. При проведении подобной оценки моделирование процессов проветривания является одним из перспективных направлений в рудничной аэрогазодинамике. Это позволит повысить достоверность определения и последующего контроля мест скопления метана в пространстве горных выработок [3,4].

Анализ мест обнаружения скопления горючих газов, прежде всего метана, с повышенной концентрацией показывает, что рациональным методом выполнения требований охраны труда и промышленной безопасности в процессе ведения горных работ, является заблаговременный прогноз динамики формирования зон газоопасных скоплений [5,6].

При этом методы непосредственного измерения концентраций пожаровзрывоопасных газовых смесей (ПВГС) в выработке зачастую не могут быть применены ввиду трудности доступа и возможности нарушения структуры полей концентраций при замере [7,8]. На основании выше изложенного следует, что повышение достоверности результатов контроля аэрогазовой обстановки при помощи современных средств мониторинга является актуальной задачей. Кроме того, решение данной проблемы также будет способствовать увеличению эффективности управления процессом проветривания горных выработок и прежде всего выемочных участков и приведет к повышению безопасности жизнедеятельности угольной шахты по газовому фактору [3,9].

Методы исследования

Целью работы являлась разработка основ прогнозирования формирования ПВГС в пространстве горных выработок.

С целью достижения намеченных результатов, на первоначальном этапе настоящей работы, в качестве объекта исследования выбраны условия формирования местных скоплений взрывоопасных газов в горных выработках. При этом предметом исследования являлись способы и методы профилактики производственного травматизма, основанные на прогнозировании формирования и своевременном контроле локальных мест скопления метана.

С целью достижения намеченных результатов, был использован комплексный подход, включающий в себя набор научно-исследовательских методов, применяемых для обеспечения промышленной безопасности угольных шахт. Он предусматривает применение аналитических, теоретических и экспериментальных [10,11], а также сравнительных методов научного исследования [12]. Данные методы реализованы с помощью многофункциональных систем обеспечения безопасности, установленных на каждой угольной шахте согласно требованиям Российского законодательства [13].

Для сбора необходимых исходных данных и научно-обоснованного выбора прикладной компьютерной программы, а также построения модели массопереноса рудничного воздуха, содержащего ПВГС, были изучены как данные систем аэрогазового контроля, так и приборов индивидуального контроля, а также журнала загазованности шахтных выработок конкретных угольных шахт. На тех или иных этапах работы для сбора необходимых данных проводили натурные эксперименты, включающие в себя аэрогазовоздушные съемки в пределах выемочных участков. Натурные эксперименты выполнены на нескольких угольных шахтах Печорского угольного бассейна. После определения исходных данных и их достаточности было осуществлено компьютерное моделирование на прикладных программных комплексах [7,11].

Результаты исследования и их обсуждение

На основании собранных научно-исследовательских данных, а также результатов анализа требований, действующих законодательных и нормативно правовых актов, регламентирующих вопросы обеспечения охраны труда и промышленной безопасности, позволили выявить ряд проблем в области профилактики, как производственного травматизма, так и обеспечения взрывобезопасности шахты. Так, например, для обеспечения безопасности труда персонала угольных шахт в условиях образования скоплений МВС в рабочих зонах выработок необходима разработка нормативного метода заблаговременного выявления мест образования повышенных концентраций ПВГС для их последующего постоянного мониторинга. Кроме того, необходима разработка дополнительных организационных и методических мероприятий, как по охране труда, так и промышленной безопасности для своевременного оповещения работников о конкретных местах нахождения источников опасности. Для этого необходимо использовать методы формирования и развития прогнозных аварийных ситуаций для снижения последствий воздействия опасных факторов: взрыва местного скопления МВС [4,8].

В ходе выполнения научно-исследовательской работы было установлено, что на сегодняшний день к основным мероприятиям и методам нормализации атмосферы выработок угольных шахт согласно требованиям "Инструкции по аэрологической безопасности угольных шахт", утвержденной приказом Ростехнадзора от 08 декабря 2020 г. № 506 и ряда других документов относят: проветривание подземных горных выработок, дегазация угольных пластов и контроль состояния рудничной атмосферы с помощью средств аэрогазового контроля, входящих в шахтные многофункциональные системы обеспечения безопасности. Профессиональное и качественное выполнение данных мероприятий по контролю атмосферы выработок позволяет в ряде случаев предупредить развитие инцидентов и аварий и спасти максимальное количество горнорабочих. Применение данных методов нормализации атмосферы выработок вносит существенный вклад в обеспечение безопасности шахты, но одних их недостаточно ввиду наличия возможности формирования местных скоплений метана и отсутствия инструмента по его заблаговременному выявлению. Это в свою очередь, при нарушении требований к ведению технологического и производственного процесса, отсутствия информирования персонала шахты о правилах поведения при нахождении вблизи или в данных МВС, а также иных факторов, может приводить к тем или иным по тяжести и последствиям чрезвычайным ситуациям [3,14].

Для разработки основ прогнозирования формирования скоплений ПВГС в РЗГВ, направленный на профилактику производственного травматизма шахтеров, необходимо изучить принятые в шахте способы контроля, прежде всего ручного замера концентраций метана и скорректировать их выполнение с учетом выявленных недостатков при проведении ручных замеров концентраций метана в пространстве горных выработок. Это очень важный момент, так как для обеспечения безопасности ведения горных работ и защиты горнорабочих необходимо получение максимально достоверной информации о распределении полей скопления и значении в них концентрации метана.

При неправильной (некорректной) работе по ручному замеру существует вероятность замера случайной величины концентрации метана в рабочей зоне выработки, так как соотношение между длиной скопления и длиной зоны с максимальной концентрацией метана может различаться в широких пределах. При проведении натурных исследований антропометрические показатели замерщика, например, размах рук или рост, отличаются от ширины (градации) зоны с максимальной концентрацией метана (Рис.2).

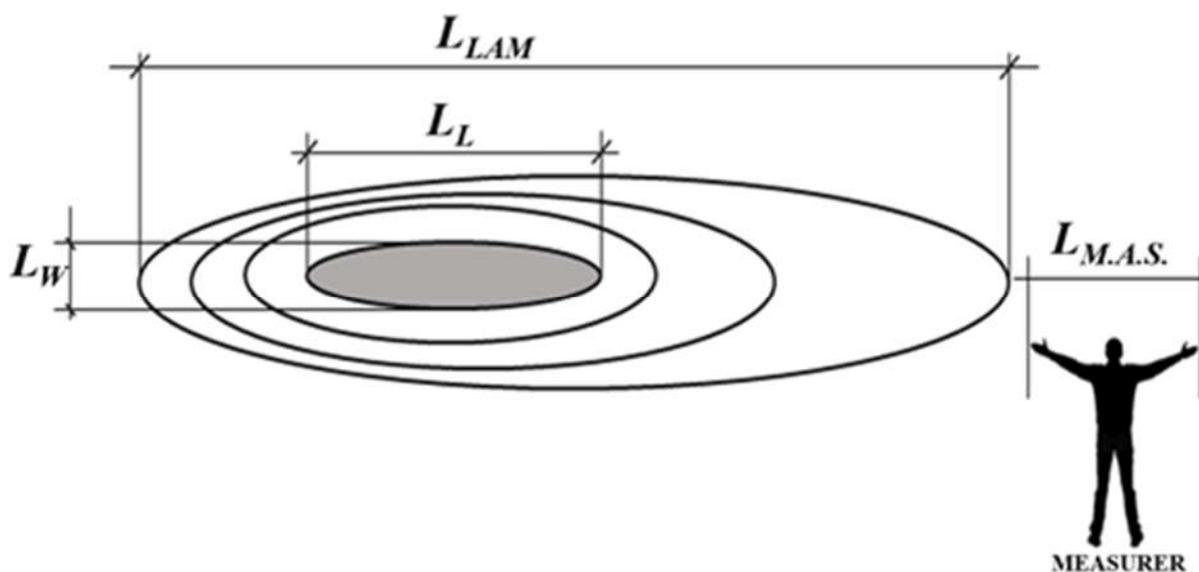


Рис.2. Пример производства ручных замеров концентрации метана в скоплении: L_L – длина зоны с максимальной концентрацией метана, м; L_W – ширина зоны с максимальной концентрацией метана, м; L_{LAM} – длина скопления метана, м; $L_{M.A.S.}$ – размах рук замерщика, м

Вероятность точного замера максимальной величины концентрации определяется по формуле (1):

$$B_3 = P_1 \cdot P_2 = \left(\frac{L_L}{L_{LAM}} \right) \cdot \left(\frac{L_W}{L_{M.A.S.}} \right) \quad (1)$$

где P_1 и P_2 – вероятность попадания в зону с максимальной концентрацией метана и проведения точного замера соответственно.

При условии, если значение P_2 больше или равно 1, то для расчета необходимо принимать $P_2 = 1$.

В Таблице 1 приведены некоторые из полученных результатов по оценке точности замеров ПВГС. В качестве исходных данных приведены усредненные параметры местных скоплений. При проведении исследований средний размах рук замерщика (его антропометрические показатели) был принят в 1,8 метра (см. Таблицу 1).

Таблица 1. Результаты оценки точности замеров в местах аэрогазового контроля

Выработка (место скопления)	Характеристики			
	L_W (м)	L_L (м)	L_{LAM} (м)	B_3

Тупиковая выработка	0,4	2,1	4	0,12
Конвейерный штрек	1,3	1,5	6,1	0,18
Вентиляционный штрек	0,5	1,1	2,9	0,1
Сбойка	0,2	0,9	1,3	0,07

Таким образом, можно проследить, что в процессе производства замеров существует вероятность проведения неточного замера, которое приводит к появлению недостоверной информации (картины) о загазованности выработок. Также необходимо учитывать, что вмешательство в поля концентрации способствуют их размытию и в последующем искажению информации (картины) загазованности выработок. Поэтому необходим метод контроля, не оказывающий физическое влияние на местное скопление и не способствующий его размытию.

На последнем этапе выполнения работы по данной проблематике стало математическое моделирование аэрогазодинамических процессов формирования местных скоплений метана.

На большинстве объектов ведения горных работ для решения тех или иных задач, в том числе и научного характера, применяются в основном три профессиональные программы: «Computational Fluid Dynamics (CFD)-комплекс Flow Vision», «SolidWorks» [2,3]. Согласно полученным предварительным результатам моделирования, один из которых представлен на Рис.3 и 4, было выявлено, что наиболее подходящими для решения стоящих в исследовании задач, являются программные комплексы FlowVision и «SolidWorks Flow Simulation». При этом Flow Vision является на наш взгляд более простой по скорости освоения и приобретения навыков работы с ним, чем с комплексом SolidWorks Flow Simulation. Также стоит отметить, что в зависимости от стоящих задач перед горным инженером, его базовых знаний будет недостаточно. Тогда потребуется дополнительная подготовка, связанная с моделированием процессов массопереноса ПВГС в пространстве горных выработок с помощью рассмотренных прикладных программных комплексов.

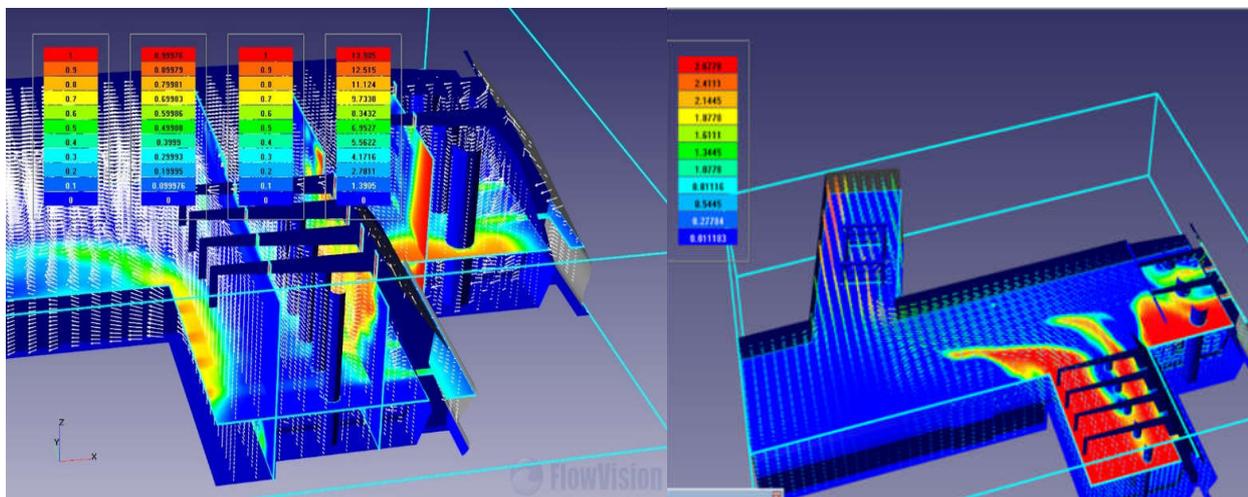


Рис.3. Пример решения задач аэрогазодинамики в программном комплексе FlowVision: Особенности распределения векторов скоростей, исходящих и подсвежающих струй, оказывающих влияние на формирование местных скоплений (участок – «лава»)

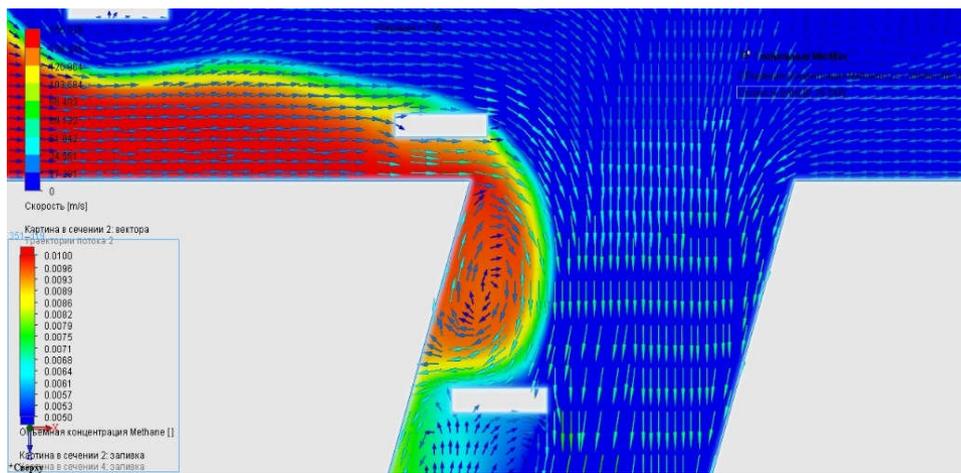


Рис.4. Векторы скоростей воздушного потока, смоделированные в программном комплексе «SolidWorks Flow Simulation»

В общем виде предлагаемый метод прогнозирования формирования скоплений ПВГС в рабочих зонах угольных шахт, направленный на профилактику производственного травматизма шахтеров, изображен на Рис.5 в качестве методики последовательных действий управленческого инженерно-технического персонала (УИТП) угольной шахты. В приказах, подписанных руководителем организации, отражаются ответственные исполнители, их обязанности.



Рис.5. Схема методики последовательных действий УИТП угольной шахты

Использование разрабатываемого метода прогнозирования образования скоплений ПВГС в пространстве горных выработок, направленного на профилактику производственного травматизма шахтеров и предотвращение накопления ПВГС, упростит задачу специалистам службы аэрологической безопасности в обеспечении целевого контроля содержания метана в выработках газовых шахт. Это также позволит научно обоснованно и адресно устанавливать дополнительные датчики системы аэрогазового контроля. [15,16].

Заключение

Сравнительный анализ полученных результатов моделирования в программах «Computational Fluid Dynamics (CFD)-комплекс Flow Vision», «SolidWorks» позволяет сделать вывод о практической сходимости полученных результатов при задании идентичных граничных и начальных условий на входе в модель.

Компьютерное моделирование позволяет оценить целесообразность изменения параметров проветривания с целью снижения возможности возникновения местных и слоевых скоплений метана, а также определить критический объём МВС, в местах их наиболее вероятного возникновения. Работа в данном направлении продолжается, и вскоре станет возможным составление каталога (альбома схем) характерных мест формирования скоплений ПВГС, которые можно разработать отдельно для каждой шахты. Такого рода альбом схем, в котором будут приведены все основные наиболее вероятные места скопления ПВГС, поможет обеспечить промышленную безопасность угольных шахт, тем самым появится возможность исключить инциденты и аварии по причине возгораний/взрыва ПВГС.

В связи с имеющимися материально-техническими возможностями и полученными результатами, направленными на сохранение человеческой жизни, целесообразно продолжить работу в данном направлении.

Список источников

1. Родионов В.А., Скрипник И.В., Каверзнева Т.Т., Жихарев С.А. Предпосылки применения риск-ориентированного подхода к оценке взрывопожароопасных свойств горнодобывающих материалов // E3S Web of Conferences 417, 05013 (GEOTECH-2023); URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341705013> (дата обращения 08.08.2024).
2. Комаров А.А., Громов Н.В., Бажина Е.В. Восстановление сценария развития взрывной аварии расчетным методом // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 8. С. 7–13. DOI 10.24000/0409-2961-2020-8-7-13.
3. Кумар В.Р., Ничит К., Вигнешваран С. и др. Физика детонационной химии: радикальная теория прогнозирования перехода дефлаграции в детонацию, взрывов окружающей среды и сверхновых // Форум AIAA по движению и энергетике. 2021. DOI 10.2514/6.2021-3242.
4. Магомед Р.Д., Родионов В.А. Повышение взрывобезопасности угольных шахт российской федерации // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № S6. С. 147-155.
5. Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. М.: Недра, 1976. 272 с.
6. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. М.: Недра, 1983. 279 с.
7. Уинтон Дж.Г. Обзор энергии, связанной с выбросами угля // Международный журнал горной науки и технологий. 2018. Т. 28. Вып. 5. С.755–761. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.08.004.
8. Родионов В.А., Скрипник И.Л., Ксенофонтов Ю.Г., Каверзнева Т.Т. Определение кинетических параметров и условий самовозгорания угля при его транспортировке // Труды конференции AIP 2467, 080004 (2022).URL: <https://doi.org/10.1063/5.0093906>.
9. Черданцев Н.В. Об одном варианте расчета напряженного состояния пласта, обрабатываемого очистной выработкой // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 8. С. 23-28. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-8-23-28.
10. Колеров Д.А. Компьютерное моделирование определения индивидуального риска работника лакокрасочного предприятия // Сборник трудов Конкурса научно-исследовательских работ (Конкурса НИР): Материалы Молодежной программы 25-ой Международной специализированной выставки и Форума «Безопасность и охрана труда» БИОТ-2021, Москва, 07–10 декабря 2021 года. Москва: Ассоциация разработчиков, изготовителей и поставщиков средств индивидуальной защиты, 2021. С. 158-161.
11. Скрипник И.Л., Марченко М.А., Колеров Д.А., Исембулатов А.С. Применение компьютерного моделирования для расчета индивидуального риска на примере окрасочного производства // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2019. № 4(32). С. 5-12.
12. Родионов В.А., Серегин А.С., Иконников Д.А. Мультипликативный метод оценки взрывопожароопасных свойств рудничной атмосферы при поступлении в воздушную среду углеводородных газов // Горный журнал, 2023, № 9, pp. 35-40. DOI: 10.17580/gzh.2023.09.05.

13. Протосеня А.Г., Ставрогин А.Н. Механика деформирования и разрушения горных пород. М.: Недра, 1992. 224 с.
14. Галиндо Р.А., Серрано А., Олалла К. Предельная несущая способность скальных массивов на основе модифицированного критерия прочности Мора — Кулона // Международный журнал механики горных пород и горных наук. 2017. Т. 93. С.215–225. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2016.12.017.
15. Скрипник И.Л., Воронин С.В. К вопросу о современном состоянии теории проектирования новых образцов пожарной техники // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 13 апреля 2017 г. - Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 218-220.
16. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Расчетная процедура оценки технического уровня разработок изделий пожарной техники // Научно-аналитический журнал. Природные и техногенные риски (Физико-математические и прикладные аспекты). № 2 (22) – 2017. С. 36-46.
17. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Модель качества разработки изделий пожарной техники // Научно-аналитический журнал. Природные и техногенные риски (Физико-математические и прикладные аспекты). № 4 (24) – 2017. С. 35-42.

References

1. Rodionov V.A., Skripnik I.V., Kaverzneva T.T., Zhikharev S.A. Prerequisites for applying the risk-based approach to assessing the explosive and fire hazardous properties of underground mining materials // E3S Web of Conferences 417, 05013 (GEOTECH-2023); URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341705013> (access date 08.08.2024).
2. Komarov A.A., Gromov N.V., Bazhina E.V. Reconstruction of the scenario for the development of an explosive accident using the calculation method // Occupational safety in industry. 2020. №. 8. pp. 7–13. DOI 10.24000/0409-2961-2020-8-7-13.
3. Kumar V.R.S, Nichith C., Vigneshwaran S. et al. The Physics of Detonation Chemistry: A Radical Theory in Predicting the Deflagration to Detonation Transition, Environmental and Supernova Explosions // AIAA Propulsion and Energy Forum. 2021. DOI 10.2514/6.2021-3242.
4. Magomet R.D., Rodionov V.A. Increase of explosion safety of coal mines. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. 2019; 4/6:147-155. [In Russ] DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-6-147-155.
5. Fisenko G.L. Limit states of rocks around workings. M.: Nedra, 1976. 272 P.
6. Petukhov I.M., Linkov A.M. Mechanics of rock bursts and outbursts. M.: Nedra, 1983. 279 P.
7. Winton J.G. A review of energy associated with coal bursts // International Journal of Mining Science and Technology. 2018. Vol. 28. Iss. 5. pp. 755–761. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.08.004.
8. Rodionov V.A., Skripnik I.L., Ksenofontov Yu.G., Kaverzneva T.T. Determination of Kinetic Parameters and Conditions of the Spontaneous Combustion of Coal During its Transportation. AIP Conference Proceedings 2467, 080004 (2022). <https://doi.org/10.1063/5.0093906>.
9. Cherdantsev N.V. About one option for calculating the stressed state of a formation mined by a mining working // Occupational safety in industry. 2020. №. 8. pp. 23-28. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-8-23-28.
10. Kolerov D.A. Computer modeling of determining the individual risk of an employee of a paint and varnish enterprise // Collection of works of the Competition of Scientific Research Works (R&D Competition): Materials of the Youth Program of the 25th International Specialized Exhibition and Forum “Occupational Safety and Health” BIOT-2021, Moscow, December 07–10, 2021. Moscow: Association of developers, manufacturers and suppliers of personal protective equipment, 2021. pp. 158-161.
11. Skripnik I.L., Marchenko M.A., Kolerov D.A., Isembulatov A.S. Application of computer modeling to calculate individual risk using the example of painting production // Natural and man-made risks (physical, mathematical and applied aspects) . 2019. issue 4(32). pp. 5-12.

12. Rodionov V.A., Seregin A.S., Ikonnikov D.A. Multiplicative method to assess fire and explosion hazard of mine air containing hydrocarbon gases GORNYI ZHURNAL, 2023, № 9, pp. 35–40 DOI: 10.17580/gzh.2023.09.05.
13. Protosenya A.G., Stavrogin A.N. Mechanics of deformation and fracture of rocks. M.: Nedra, 1992. 224 P.
14. Galindo R.A., Serrano A., Olalla C. Ultimate bearing capacity of rock masses based of modified Mohr — Coulomb strength criterion// International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2017. vol. 93. pp. 215–225. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2016.12.017.
15. Skripnik I.L., Voronin S.V. On the issue of the current state of the theory of designing new models of fire equipment // Reliability and durability of machines and mechanisms: collection of materials of the VIII All-Russian Scientific and practical conference, Ivanovo, April 13, 2017 - Ivanovo: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2017. – pp. 218-220.
16. Skripnik I.L., Voronin S.V. Calculation procedure for assessing the technical level of development of fire equipment products // Scientific and analytical journal. Natural and man-made risks (Physical, mathematical and applied aspects). No. 2 (22) – 2017. pp. 36-46.
17. Skripnik I.L., Voronin S.V. The quality model of the development of fire equipment products // Scientific and analytical journal. Natural and man-made risks (Physical, mathematical and applied aspects). No. 4 (24) – 2017. pp. 35-42.

Информация об авторах

И.Л. Скрипник - кандидат технических наук, доцент
Т.Т. Каверзнева - кандидат технических наук, доцент
Д.В. Савельев - кандидат военных наук, доцент
С.Г. Ивахнюк - кандидат технических наук

Information about the author

I.L. Skripnik - Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor
T.T. Kaverzneva - Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor
D.V. Savelyev - Ph.D. of Military Sciences, Associate Professor
S.G. Ivakhnyuk - Ph.D. of Engineering Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 29.07.2024, одобрена после рецензирования 21.08.2024, принята к публикации 31.08.2024.

The article was submitted 29.07.2024, approved after reviewing 21.08.2024, accepted for publication 31.08.2024.

Научная статья
УДК 614.844
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.67.53.021

Средства получения и перспективы применения компрессионной пены в пожаротушении

Наталья Александровна Сизонова

ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Балашиха, Россия

Автор ответственный за переписку: Наталья Александровна Сизонова, nauka-msk@yandex.ru

Аннотация. Предметом статьи являются современные технологии тушения пожаров, основанные на компрессионной пене. Цель исследования - изучение средств получения и перспектив применения компрессионной пены в пожаротушении. Представлена схема изготовления компрессионной пены (пенный концентрат выступает в качестве пенообразователя) и схема автономной установки изготовления компрессионной пены. Отмечено, что одним из существенных преимуществ CAFS является возможность создания готового продукта, соответствующего конкретному типу горючего или конкретной ситуации. Определены характеристики продукта SmartCAFS. Представлена типология использования компрессионной пены в зависимости от типа инцидента. Приведены результаты испытания на огнестойкость различных пен. Системы пожаротушения, основанные на применении компрессионной пены, получают широкое распространение, поскольку такая технологии не нуждается в большом количестве воды, позволяет быстро покрывать большие площади, сводя к минимуму любой причиненный ущерб и риск дальнейшего распространения пожара. Кроме того, системы пенообразования на сжатом воздухе можно разместить на гораздо меньшей площади, чем альтернативные решения, что значительно снижает требования к инфраструктуре и расходы. Перспективы развития систем CAFS заключаются в их интеграции с цифровыми технологиями.

Ключевые слова: пена, пожар, компрессия, покрытие, расход, вода, топливо, воздух

Для цитирования: Сизонова Н.А. Средства получения и перспективы применения компрессионной пены в пожаротушении // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 218-227. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.67.53.021>.

Original article

MEANS OF PRODUCTION AND PERSPECTIVES OF COMPRESSION FOAM APPLICATION IN FIRE FIGHTING

Natalia A. Sizonova

FGBU VNIIPPO EMERCOM of Russia, Balashikha, Russia

Corresponding author: Natalia A. Sizonova, nauka-msk@yandex.ru

Abstract. The subject of the article is modern fire extinguishing technologies based on compression foam. The purpose of the study is to study the means of obtaining and the prospects for using compression foam in firefighting. A diagram of the production of compression foam is presented (the foam concentrate acts as a foaming agent) and a diagram of an autonomous installation for the

production of compression foam. It is noted that one of the significant advantages of CAFS is the ability to create a finished product that matches a specific type of fuel or a specific situation. The characteristics of the SmartCAFS product have been defined. A typology of the use of compression foam depending on the type of incident is presented. The results of fire resistance tests of various foams are presented. Fire extinguishing systems based on the use of compression foam are becoming widespread because this technology does not require large amounts of water, allows it to quickly cover large areas, minimizing any damage caused and the risk of further spread of the fire. In addition, compressed air foam systems can be installed in a much smaller footprint than alternative solutions, significantly reducing infrastructure requirements and costs. The prospects for the development of CAFS systems lie in their integration with digital technologies.

Keywords: foam, fire, compression, coating, flow, water, fuel, air

For citation: Sizinova N.A. Means of obtaining and prospects for using compression foam in fire extinguishing // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 3 (34). С. 218-227. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.67.53.021>.

Введение

Частые случаи возникновения пожаров всех типов в повседневной жизни приводят к огромным экономическим потерям и загрязнению окружающей среды. Пожары классов А и В среди других классов наносят наиболее значительный материальный и экологический ущерб. Самым распространенным веществом для тушения пожаров класса А является вода, поскольку она имеет высокие показатели теплоемкости, теплоты парообразования и низкую теплопроводность [1]. Основной механизм огнетушащего действия воды - охлаждение зоны горения. При попадании в очаг пожара вода охлаждает горючее вещество ниже температуры воспламенения. Также при поглощении водой тепла образуется пар, который уменьшает концентрацию кислорода и продуктов горения [2]. Теоретически охлаждающая способность воды составляет 2,6 МВт на литр в секунду. Но в реальной ситуации такой огромной мощности охлаждения можно добиться только с помощью сотен литров воды, поскольку почти 80% уходит из зоны пожара, не испаряясь. Таким образом, огромная противопожарная сила воды может быть оптимально использована только при полном испарении в условиях пожара [3]. Чтобы добиться этого, вода должна быть разбита на мелкие частицы, площадь поверхности которых во много раз превышает площадь поверхности воды. Эти капли (размером около 150 микрон) затем необходимо доставить к огню с помощью кинетической силы, достаточно сильной, чтобы преодолеть собственные конвекционные потоки огня [4].

Материалом исследования послужили научные источники по проблеме исследования. В качестве методов выступили анализ, обобщение, систематизация информации по вопросам средств получения и перспективы применения компрессионной пены в пожаротушении и моделирование.

Определенная сложность выполнения всех обозначенных условий эффективного использования воды в процессе тушения пожара предопределила тот факт, что во многих странах мира сегодня все большую популярность приобретает применение пены, в том числе компрессионной. Принцип действия системы для получения компрессионной пены следующий - принудительное введение воздуха в раствор пенообразователя с помощью компрессора [5]. Такие системы в англоязычных странах называются «Compressed air foam system» (CAFS). В последнее время они получили широкое распространение в самых разных областях. В компрессионной пене хорошая изолирующая способность горючих паров от зоны реакции. Особую эффективность она демонстрирует во время борьбы с легковоспламеняющимися жидкостями и углеводородами [6].

Универсальность компрессионной пены доказана в ходе многочисленных полевых испытаний. Было установлено, что она подходит для морских нефтегазовых объектов, автомобилей быстрого реагирования, мест хранения топлива, горнодобывающей

промышленности, морских судов, насосного оборудования под давлением и оборудования для гидроразрыва пласта, резервуаров для хранения углеводородов, аэропортов, лесного хозяйства и общего аварийного реагирования на пожары.

При использовании в качестве средства пожаротушения огненная струя CAFS обладает очень высоким качеством поглощения тепла, что позволяет подавить пожар в кратчайшие сроки по сравнению с традиционной тактикой использования обычной воды. В результате повышения эффективности снижается риск для пожарных во время спасательных операций, расширяется окно возможностей для спасения людей, уменьшается материальный ущерб, и снижаются общие эксплуатационные расходы.

Таким образом, изучение свойств пен, доступных для применения в системах CAFS, которые подходят для конкретных случаев пожаротушения, а также особенностей их изготовления и применения составляет важную научно-практическую задачу, необходимость решения которой и предопределила выбор темы данной статьи.

Вопросы, связанные с гидродинамикой компрессионной пены при тушении пожаров, а также моделированием диффузии пены, нашли свое отражение в работах авторов [11-13].

Однако, несмотря на имеющиеся труды и наработки, ряд вопросов в данной предметной плоскости остается нерешенным. Так, отдельного внимания заслуживает сравнение различных видов пены для тушения пожаров, определение свойств их повторного возгорания, а также токсичность веществ, которые образуются пенами после тушения пожара. Кроме того, в уточнении нуждаются характеристики существующих нагнетателей пены, в том числе в случае их портативного применения.

Таким образом, цель статьи заключается в определении средств получения и перспектив применения компрессионной пены в пожаротушении.

Компрессионная пена — это высокоэнергетическая пена с низким коэффициентом расширения. Она состоит из воды, пенообразователя и сжатого воздуха [14]. От других противопожарных пен ее отличает способ получения. Вместо того чтобы подавать воздух в пенный раствор через специальный пенный патрубок или трубку для аэрации пены, подсоединенную к насадке, сжатый воздух добавляется в пенный раствор перед насадкой, обычно на выходе из насоса. Затем раствор пены и сжатый воздух тщательно перемешиваются перед выпуском через прямое отверстие сопла (см. Рис.1). Этот процесс создает высокоэнергетическую пену, обладающую превосходной дальностью подачи и более эффективно использующую пенообразователь и воду. Изменяя объем воды и воздуха в растворе, можно получить более широкий диапазон консистенций пены, что в более полной мере может отвечать потребностям при тушении пожаров и защите от огня.

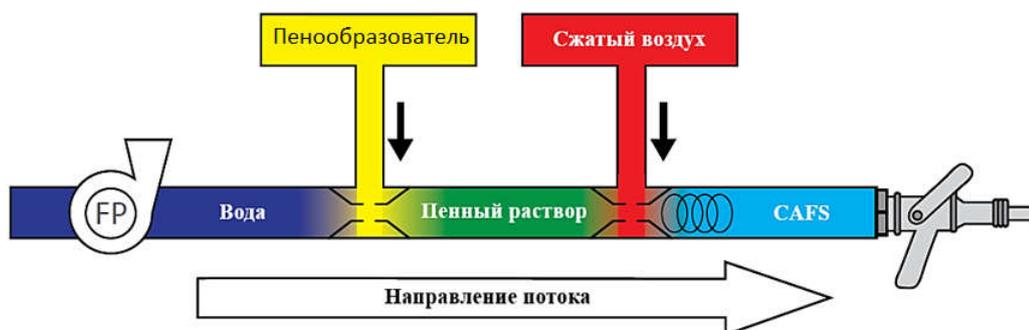


Рис.1. Схема изготовления компрессионной пены (пенный концентрат выступает в качестве пенообразователя)

Очевидно, что сегодня для промышленного применения компрессионной пены получили широкое распространение автономные установки, которые устраняют необходимость

использовать сопло для подачи воздуха в пенный раствор для создания готового пенного покрытия.

Пенная система со сжатым воздухом состоит из традиционного центробежного водяного насоса и системы подачи воды, системы подачи пены (бак или бочка для пены) и насоса/дозатора пены для подачи пеноконцентрата класса А или класса В в необходимом процентном соотношении. Компрессор подает воздух, который добавляется в пенный раствор под давлением, немного превышающим давление воды [15]. Смешивание и перемешивание пенного раствора и воздуха происходит в подающем шланге (или в смесительной камере для устройств, устанавливаемых в аппаратах) для создания равномерной и однородной структуры пенных пузырьков (см. Рис.2).

Одним из существенных преимуществ CAFS является возможность создания готового продукта, соответствующего конкретному типу горючего или конкретной ситуации. Получение равномерной пузырьковой структуры с увеличенным временем стекания и высокой прочностью на сдвиг обеспечивает большую устойчивость, чем пена с естественной аспирацией или вода при тушении пожара.

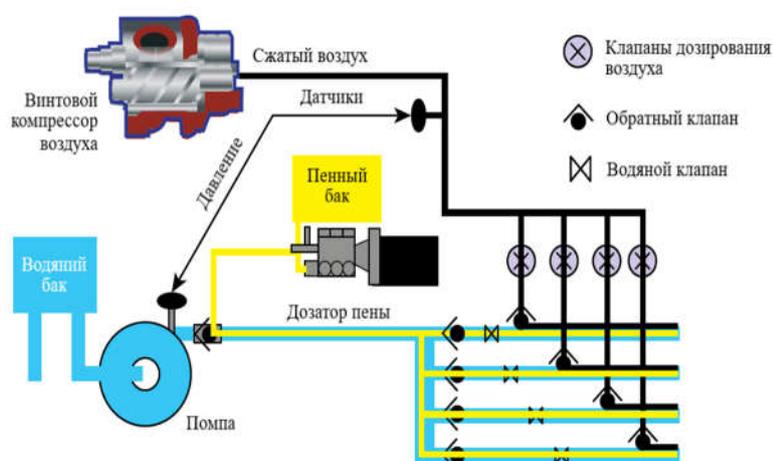


Рис.2. Схема автономной установки изготовления компрессионной пены

Изменяя соотношение раствора пены и воздуха, можно получить компрессионную пену различной консистенции. В настоящее время для использования в системах CAFS существует целый ряд пеноматериалов, которые подходят для конкретных случаев применения. К ним относятся:

- Пена низкой кратности расширения: имеет коэффициент расширения менее 20 раз. Она маловязкая, подвижная и может быстро покрывать большие площади, что делает ее идеальной для больших открытых пространств или крупных складов.
- Пена средней кратности: обладает коэффициентом расширения от 20 до 100 раз и является подходящим решением для большинства промышленных предприятий.
- Пена высокой кратности: характеризуется высоким коэффициентом расширения от 200 до 1000, что делает ее подходящей для закрытых помещений, где быстрое покрытие и ликвидация пожара являются главным приоритетом. Обычно этот тип пены применяется в ангарах.
- Спиртостойкие пены: эти пены содержат полимер, который создает защитное покрытие между огнем и пеной, предотвращая разрушение пены под воздействием спиртов, содержащихся в огне. Естественно, они обычно используются в помещениях, где регулярно применяется метиловый спирт и другие оксигенаты.

На следующем этапе исследования представляется целесообразным рассмотреть практические аспекты применения компрессионной пены в конкретных ситуациях пожаротушения.

Математическая модель процесса получения компрессионной пены

Для формализации математической модели будем рассматривать блок пеногенератора и систему связи между блоками.

Входными данными блока пеногенератора, в котором реализована математическая модель прохождения газожидкостной смеси через пеногенератор, являются:

p_2 - давление на входе в пенообразующую вставку, Па;

p_1 - давление на выходе из пенообразующей вставки, Па;

ε - пористость (отношение объема пустот к общему объему пористого вещества) пористого тела;

D - диаметр пенообразующей вставки, м;

L - длина пенообразующей вставки, м;

h_s - толщина пенообразующих элементов, м;

b_s - ширина пенообразующих элементов, м.

Выходные данные включают в себя:

Q_w - расход жидкой фазы газожидкостного потока (объемный расход) в предкамеру, м³/с;

Q_a - расход газовой фазы газожидкостного потока Q_a (объемный расход) в предкамеру, м³/с.

$$\frac{dp}{dL} = \psi \cdot \lambda(p) \cdot \rho_w \cdot \frac{\omega'^2}{d_{equ}} \left(1 + \left(1 - \frac{\rho_{air}(p)}{\rho_w} \right) \cdot \frac{w''}{w'} \right), Pa/m$$

где: ψ - приведенный коэффициент сопротивления для принятых режимов газосодержания, который уточняется экспериментально; $\lambda(p)$ - коэффициент гидродинамического сопротивления однофазного потока, в данном случае жидкой фазы, движущейся с поверхностной скоростью жидкой фазы; ρ_w - плотность жидкой фазы, кг/м³; d_{equ} - эквивалентный диаметр канала пенообразующей вставки, м; $\rho_{air}(p)$ - плотность газовой фазы под давлением p , кг/м³; ω' - поверхностная скорость жидкой фазы, м/с; ω - поверхностная скорость газовой фазы, м/с.

Исходя из определения коэффициента вспенивания, можно рассчитать объемный расход газовой фазы:

$$Q_{a_{NC}} = (k_m - 1) \cdot Q_w, m^3/c$$

где: $Q_{a_{NC}}$ - объемный расход газовой фазы (для нормальных условий), м³/с; Q_w - объемный расход жидкой фазы (смесь воды с пенообразователем), м³/с.

При определении $Q_a(p)$ - объемного расхода воздуха, находящегося под давлением p , важно учитывать, что при прохождении потока через этот блок происходит очень активное перемешивание и контакты обеих фаз, образующих газожидкостную смесь. Ввиду более значительного массового расхода воды (при нормальных значениях кратности), теплообмен между отдельными фазами успевает произойти, поэтому данный процесс считается изотермическим термодинамическим процессом, для которого, согласно закону Бойля-Мариотта, объемный расход рассчитывается по формуле:

$$Q_a(p) = Q_{a_{NC}} \cdot \frac{p_{NC}}{p}, m^3/c$$

p_{NC} - нормальное атмосферное давление, Па; p - давление, под которым находится пена в текущий момент времени, Па.

Объемный расход газожидкостной смеси под давлением p определяется по формуле:

$$Q_f(p) = Q_a + Q_w, m^3/c$$

Чтобы рассчитать массовый расход газа целесообразно воспользоваться формулой:

$$G_a = Q_{a_{NC}} \cdot \rho_{a_{NC}} = (k_m - 1) \cdot Q_w \cdot \rho_{a_{NC}}, кг/с$$

Формула для плотности газовой фазы, которая находится под давлением, выглядит следующим образом:

$$\rho_{air}(p) = \frac{G_a}{Q_a(0)} = \frac{(k_m - 1)Q_w \rho_w \frac{\rho_{a_NC}}{\rho_w}}{(k_m - 1)Q_w \frac{\rho_{NC}}{p}} = \frac{\rho_{a_NC}}{\rho_{NC}} p, \quad \text{кг/м}^3$$

Для проведения расчетов с использованием математической модели с учетом переходных процессов и контроля ошибок необходимо задать входные параметры. Они задаются произвольно и для получения требуемых выходных параметров установки подбираются методом итераций.

С технической точки зрения компрессионная пена воздействует на все стороны тетраэдра пожара, накрывая огонь «пенным полотном», тем самым препятствуя соединению кислорода с топливом. Оно уменьшает нагрев за счет изоляции с помощью воздуха, находящегося в пузырьках, а пузырьки отражают лучистое тепло, тем самым предупреждая избыток тепла в огне. Это предотвращает реакцию дополнительного топлива с огнем, создавая барьер. Наконец, было доказано, что CAFS нарушает химическую реакцию, необходимую для продолжения пожара. CAFS в 15-30 раз эффективнее, чем просто вода [16].

В Табл.1 представлены возможные типы инцидентов возгорания и рекомендуемый тип пены для тушения пожара.

Табл.1. Типология использования компрессионной пены в зависимости от типа инцидента

Тип инцидента	Цель использования пены	Тип пены	% пены
Шланг 38 мм			
Возгорание на объектах с зазорами: поддоны / шины	Удалить тепло	Влажный	0,2% - 0,3%
Возгорание растительности	Удалить тепло	Влажный	0,2% - 0,3%
Автомобильный пожар	Отвод тепла	Влажный	0,2% - 0,3%
Внешнее возгорание зданий/производственных площадок	Удалить тепло	Влажный	0,3%
Пожар на топливных объектах	Погасить топливо	Влажный / средний	0,3% - 0,5%
Возгорание на объектах без зазоров, мульча / бумага / картон / уголь	Удаление кислорода и тепла	Влажный до среднего	0,35 - 0,5%
Защита от влаги и воздействия (двухслойное нанесение)	Удалить топливо	Влажный, затем сухой	0,3%, затем 0,5%
Класс В, легковоспламеняющаяся жидкость	Удалить кислород и тепло	Средняя	1.0%
Шланг 70 мм			
Аэраторы / мониторы	Удаление тепла / кислорода	Влажный до среднего	0,3% - 0,5%
Общие параметры		Объемы воды (ручные линии)	
Влажная	Удаление тепла	0,1% - 0,3%	250 - 350 л/мин
Средняя	Удаление кислорода	0,3% - 0,5%	120 - 180 л/мин
Сухая	Удаление топлива	0,5% - 1,0%	80 - 100 л/мин

В процессе экспериментов было установлено, что по сравнению с воздушной аспирацией, режим пенообразования САФ обычно приводит к образованию очень равномерного распределения пузырьков по размерам [17]. Распределение пузырьков по размерам и задержка жидкости оказывают сильное влияние на стабильность и реологию пены. Авторы в работе [18] обнаружили связь между распределением пузырьков по размерам и скоростью дренирования, где пены с более мелкими пузырьками демонстрировали повышенную

стабильность, что связано с уменьшением скорости дренирования. Отмечено, что более равномерное распределение пузырьков по размерам и высокая начальная газовая фракция приводят к образованию более стабильных пен. В целом, учеными установлено, что способность CAFS прилипать к вертикальным поверхностям при защите от воздействия, более высокий импульс и дальность пролета, а также меньшая потребность в воде делают их более подходящими для пожаротушения, чем воздушно-аспирационные пены. Данный вывод подтверждают результаты испытаний, проведенные ACAF Systems, Inc. Для эксперимента использовалась пена LASTFIRE, не содержащая фтора, которую испытывали на огнестойкость на расстоянии 50 метров. Полученные результаты (см Табл.2) свидетельствуют о том, что при использовании 1/3 продукта пламя полностью погасло менее чем за половину времени.

Табл.2. Результаты испытания на огнестойкость различных пен

Характеристики	Компрессионная пена	Обычная воздушно-аспирированная пена	Сравнительные характеристики
45 м пожар потушен	2 мин 45 сек	5 мин 36 сек	быстрее на 2 мин 51 сек
Вертикальное тушение	3 мин 45 сек	7 мин 24 сек	быстрее на 3 мин 39 сек
Полное тушение	6 мин 5 сек	12 мин 36 сек	быстрее на 6 мин 31 сек (в два раза быстрее)
Скорость нанесения	765 литров в минуту	1230 литров в минуту	снижение рентабельности активов на 40%
Общее количество нанесенного раствора	4650 литров	17780 литров	на 13130 литров меньше
Всего использовано пенообразующего концентрата	140 литров	465 литров	Экономия 70%

В настоящее время в эпоху Четвертой промышленной революции перспективы использования компрессионной пены заключаются в интеграции CAFS с цифровыми технологиями. На сегодняшний день есть опытный образец SmartCAFS, который оснащен заранее запрограммированным кнопочным управлением, позволяющим подавать пену нажатием одной кнопки. Этот продукт также имеет усовершенствованные защитные блокировки и доступен для пяти различных насосов, от самого продаваемого QMAX до самой маленькой в мире встроенной установки Prima.

Характеристики продукта Smart CAFS включают в себя:

18. SPS CAFS Control – упрощенное пользовательское управление, включая предварительно запрограммированное положение, дискретную регулировку производительности и включение/выключение компрессора.

19. Индикаторы предупреждений — краткая диагностика, включая три предупреждения, которые отслеживают превышение скорости компрессора, обороты в минуту и рабочую температуру.

20. Индикаторы работы — оперативная проверка правильности подачи воздуха в систему для максимальной эффективности.

21. Защитные блокировки – предотвращают возникновение опасных условий, связанных только с воздухом или воздухом и безводной пеной.

22. Система FoamLogix — пенная система с производительностью 19 литров в минуту для использования с пеной классов А и В.

Заключение

Таким образом, резюмируя вышеизложенное, можно отметить, что благодаря современным технологиям и достижениям, системы пожаротушения на основе компрессионной пены находятся на переднем крае борьбы с пожарами и эффективно используются как в городских условиях, так и на производственных площадках.

Системы пожаротушения, основанные на применении компрессионной пены, получают широкое распространение, поскольку такая технология не нуждается в большом количестве воды, позволяет быстро покрывать большие площади, сводя к минимуму любой причиненный ущерб и риск дальнейшего распространения пожара. Кроме того, системы пенообразования на сжатом воздухе можно разместить на гораздо меньшей площади, чем альтернативные решения, что значительно снижает требования к инфраструктуре и расходы. Перспективы развития систем CAFS заключаются в их интеграции с цифровыми технологиями.

Список источников

1. Шавалеев М.Р. Получение компрессионной пены от мотопомп для тушения лесных пожаров. Техносферная безопасность. 2020. № 4 (29). С. 102-105.
2. Алешков М.В., Федяев В.Д., Гумиров А.С., Шульпинов А.А. Применение компрессионной пены при тушении пожаров объектов нефтегазового комплекса при отрицательных температурах. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. №1. С. 8-15.
3. Чэнью Ван, Ху Ши Каррагинан-вермикулит-диметилметилфосфатные тройные гибридные гидрогели для пожаротушения. Огонь и материалы. 2022. № 47 (3). С. 12-19.
4. Цзянь-фэй, Л., Ван-юн Г., Сюй В., Цзе-цин Д., Пэн Ц. Экспериментальное исследование характеристик горения при пожаре небольшого бассейна с трансформаторным маслом. Пожарная наука и техника. 2019. № 26. С. 6-12.
5. Навроцкий О.Д., Камлюк А.Н. Научно-обоснованные требования к устройству и техническим характеристикам установок генерирования компрессионной пены и методика их испытаний. Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2021. № 5 (1). С. 81-92.
6. Ялонг Ч.Л., Цзяцин В., Фэнцзюй С., Шоусян Лу Характеристики пожаров и меры противопожарной защиты масляных трансформаторов. Трансформатор, безопасность и экологическая инженерия. 2020. № 39. С. 1645-1648.
7. Федяев В.Д., Стругов А.О. Современные технологии тушения пожаров на объектах энергетики. Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. 2022. № 11. С. 100-105.
8. Алешков М.В., Двоенко О.В. Оценка возможности использования различных средств пожаротушения в высотных зданиях. Пожаровзрывобезопасность. 2022. №31 (4). С. 65-75.
9. Юаньян Б.С. Обсуждение пожарной опасности и мер противопожарной защиты масляных трансформаторов атомных электростанций. Электробезопасность. 2022. № 24. С.66-69.
10. Чжан Дж. Ц., Шан Ф. Дж., Чжоу В. Ц., Сяо Ф., Чэн Д. Ф. Огнетушащая способность и характеристики загрязнения газовой фазы различными пенообразователями при тушении пожаров в бассейнах с трансформаторным маслом. Журнал пожарной безопасности. 2022. № 40. С.463-478.
11. Xuhui Z.Y., Yueyong W. Исследование применения нового пенного пожаротушения на основе пожара горячего масла полноразмерного трансформатора. Исследование применения нового пенного пожаротушения на основе пожара горячего масла полноразмерного трансформатора Пекин Китай. 2021. С.5-15.
12. Лу М., Цзя Х., Линь З. Исследование огнетушащих свойств различных пенных огнетушащих веществ при пожаре разлива дизельного топлива. Результаты в машиностроении. 2023. №17. С. 67-72.
13. Потеряев Ю.К., Мироньчев А.В., Ощепков А.М. Сравнение эффективности компрессионной пены и пены низкой кратности AFFF. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2023. № 3. Рр. 32-38.
14. Чэн Х., Тао Ц., Сюэ-чэн Ф. Экспериментальное исследование тушения пожара на всей поверхности трансформаторов с помощью сжатой воздушной пены. Пожарная наука и техника. 2020. №39. С. 959-962.

15. Шавалеев М.Р., Дальков М.П., Барбин Н.М., Пешков А.В. Мобильная установка получения компрессионной пены для тушения пожаров. Безопасность жизнедеятельности. 2019. № 2 (218). С. 49-52.
16. Дубок Ф., Ван Т., Йенг Л.В. Характеристика химического состава фторированных и не содержащих фтора огнетушащих пен с использованием нового рабочего процесса, сочетающего нецелевой скрининг и анализ общего фтора. Environ. Sci. Technol. 2020. № 54. С.245-254.
17. Хилл К., Чайка А., Хазелл Г. Поверхностные и объемные свойства поверхностно-активных веществ, используемых при тушении пожаров. Colloid Interface Sci. 2018. № 530. С. 686-694.

References

1. Shavaleev M.R. Obtaining compression foam from motor pumps for extinguishing forest fires. Technosphere safety. 2020. №. 4 (29). pp. 102-105.
2. Aleshkov M.V., Fedyaev V.D., Gumirov A.S., Shulpinov A.A. The use of compression foam when extinguishing fires at oil and gas complex facilities at subzero temperatures. Fires and emergencies: prevention, liquidation. 2020. №. 1. pp. 8-15.
3. Chenyu Wang, Hu Shi Carrageenan-vermiculite-dimethyl phosphate ternary hybrid hydrogels for firefighting. Fire and Materials. 2022. №. 47 (3). Rr. 12-19.
4. Jian-fei L., Wang-yong G., Xu W., Jie-qing D., Peng C. Experimental study on the fire combustion characteristics of small-scale transformer oil pool fire. Fire Sci. Technol. 2019. №. 26. pp. 6-12.
5. Navrotsky O.D., Kamlyuk A.N. Scientifically based requirements for the design and technical characteristics of compression foam generation units and their testing methods. Bulletin of the University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Belarus. 2021. №. 5 (1). pp. 81-92.
6. Yalong C.L., Jiaqing W., Fengju S., Shouxiang Lu Fire accident characteristics and fire extinguishing countermeasures of oil-immersed. Transformer, Safety and Environmental Engineering. 2020. №. 39. pp. 1645-1648.
7. Fedyaev V.D., Strugov A.O. Modern technologies for extinguishing fires at energy facilities. Problems of technosphere safety: materials of the international scientific and practical conference of young scientists and specialists. 2022. №. 11. P. 100-105.
8. Aleshkov M.V., Dvoenko O.V. Assessment of the possibility of using various fire extinguishing means in high-rise buildings. Fire and explosion safety. 2022. №. 31 (4). pp. 65-75.
9. Yuanliang B.S. Discussion on fire risk and rescue countermeasures of oil-immersed transformers of nuclear power plants. Electrical Safety Technology. 2022. №. 24. pp. 66-69.
10. Zhang J.Q., Shang F.J., Zhou W.C., Xiao F., Cheng D.F. Fire-extinguishing performance and gas-phase pollution characteristics of different foam agents in extinguishing transformer oil pool fire. J. Fire Sci. 2022. №. 40. pp. 463-478.
11. Xuhui Z.Y, Yueyong W. Application research of new foam fire extinguishing device based on hot oil fire of full size transformer. Application Research of New Foam Fire Extinguishing Device Based on Hot Oil Fire of Full Size Transformer Beijing China. 2021. pp. 5-15.
12. Lou M., Jia H., Lin Z. Study on fire extinguishing performance of different foam extinguishing agents in diesel pool fire. Results in Engineering. 2023. №. 17. Rr. 67-72.
13. Poteryayev Yu.K., Mironchev A.V., Oshchepkov A.M. Comparison of the effectiveness of compression foam and low expansion foam AFFF. Fires and emergencies: prevention, liquidation. 2023. №. 3. pp. 32-38.
14. Cheng H., Tao C., Xue-cheng F. Experimental study on extinguishing whole surface spill fire of transformers by compressed air foam. Fire Sci. Technol. 2020. №. 39. Rr. 959-962.
15. Shavaleev M.R., Dalkov M.P., Barbin N.M., Peshkov A.V. Mobile installation for producing compression foam for extinguishing fires. Life safety. 2019. №. 2 (218). Rr. 49-52.
16. Dubocq F., Wang T., Yeung L.W. Characterization of the chemical contents of fluorinated and fluorine-free firefighting foams using a novel workflow combining nontargeted screening and total fluorine analysis. Environ. Sci. Technol. 2020. № 54. pp. 245-254.

17. Hill C., Czajka A., Hazell G. Surface and bulk properties of surfactants used in fire-fighting. *Colloid Interface Sci.* 2018. №. 530. pp. 686-694.

Статья поступила в редакцию 29.07.2024, одобрена после рецензирования 21.08.2024, принята к публикации 31.08.2024.

The article was submitted 29.07.2024, approved after reviewing 21.08.2024, accepted for publication 31.08.2024.

Научная статья
УДК 614.841
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.80.76.022

Применение рентгеноструктурного анализа при исследовании окалины стальных горячекатанных объектов в пожарно- технической экспертизе

Ирина Яковлевна Талай¹
Екатерина Сергеевна Кабакова²
Любовь Викторовна Долгушина³
Александр Сергеевич Горбунов⁴

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Красноярский край, г. Железногорск, Россия

³<https://orcid.org/0000-0003-1821-144X>

Автор ответственный за переписку: Любовь Викторовна Долгушина, se@sibpsa.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы влияния температурного воздействия на изменение состава окалины. Методом рентгеноструктурного анализа изучен состав окалины, полученной под влиянием температур различной длительности на стальные горячекатанные объекты. В ходе исследования использовались листы углеродистой стали марки Ст3. Выявлено, что при температурном воздействии на горячекатанные стальные объекты в зависимости от длительности нагревания толщина окалины и содержание в ней вустита увеличивается пропорционально увеличению времени воздействия и температуры. Показано, что при нагревании объекта до температуры 800°C идет плавное увеличение толщины окалины до 0,05 мм, затем при температуре 850°C идет резкое увеличение толщины окалины в 2 раза во всех временных промежутках исследования. Далее до температуры 950°C увеличение также идет плавно, толщина окалины возрастает в 1,25 раз на каждые 50°. При температуре 1000°C также происходит резкое увеличение толщины окалины практически в 2 раза. Установлено, что при измерении толщины окалины и изучении дифрактограмм монотипных стальных объектов на месте пожара можно предположить место, подвергшееся наибольшему температурному воздействию. Зона с экстремально высокими значениями толщины окалины и содержания в ней вустита, соответствует экстремально высоким термическим поражениям и наоборот.

Ключевые слова: рентгеноструктурный анализ, стальные изделия, пожар, температурное воздействие, анализ

Для цитирования: Талай И.Я., Кабакова Е.С., Долгушина Л.В., Горбунов А.С. Применение рентгеноструктурного анализа при исследовании окалины стальных горячекатанных объектов в пожарно-технической экспертизе // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 228-236. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.80.76.022>.

Original article

APPLICATION OF X-RAY DIFFRACTION ANALYSIS IN THE STUDY OF SCALE OF HOT-ROLLED STEEL OBJECTS IN FIRE TECHNICAL EXPERTISE

*Irina Y. Talay*¹

*Ekaterina S. Kabakova*²

*Liubov V. Dolgushina*³

*Alexander S. Gorbunov*⁴

*Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia*³<https://orcid.org/0000-0003-1821-144X>

Corresponding author: *Liubov V. Dolgushina, se@sibpsa.ru*

Abstract. The issues of the influence of temperature action on the change in the composition of scale are considered. The composition of scale obtained under the influence of temperatures of various durations on hot-rolled steel objects has been studied by X-ray diffraction analysis. In the course of the study, carbon steel sheets of the St3 brand were used. It was found that when exposed to temperature on hot-rolled steel objects, depending on the duration of heating, the thickness of the scale and the content of wustite in it increases in proportion to the increase in exposure time and temperature. It is shown that when the object is heated to a temperature of 800°C, there is a gradual increase in the thickness of the scale to 0.05 mm, then at a temperature of 850°C there is a sharp increase in the thickness of the scale by 2 times in all time intervals of the study. Further, up to a temperature of 950°C, the increase also proceeds smoothly, the thickness of the scale increases by 1.25 times for every 50°C. At a temperature of 1000°C, there is also a sharp increase in the thickness of the scale by almost 2 times. It was found that when measuring the thickness of scale and studying diffractograms of monotypic steel objects at the fire site, it is possible to assume the place that was subjected to the greatest temperature exposure. An area with extremely high values of scale thickness and wustite content in it corresponds to extremely high thermal lesions and vice versa.

Keywords: X-ray diffraction analysis, steel products, fire, temperature exposure, analysis

For citation: Talay I.Y., Kabakova E.S., Dolgushina L.V., Gorbunov A.S. Application of X-ray diffraction analysis in the study of scale of hot-rolled steel objects in fire-technical expertise // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 3 (34). С. 228-236. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.80.76.022>.

Стальные конструкции и изделия очень распространены в промышленности и в быту, поэтому их очень часто можно найти на месте пожара, следовательно, они часто становятся основными объектами, которые подлежат исследованию при установлении очага пожара [1-10]. Исходя из свойств сталей, определяемых полевым и лабораторным методами, можно выделить участки, наиболее подверженные термическому воздействию. Стали, среди других металлов отличаются наиболее широким температурным диапазоном, в котором можно получить информацию о нагревательных характеристиках горящего материала.

В сфере оценки пожарной безопасности стальные элементы и конструкции жизненно важно классифицировать на основе их технических характеристик и способа производства. С этой целью они разделяются на две основные категории: холоднодеформированные и горячекатаные конструкционные материалы.

Широкое применение горячекатаной стали в строительстве объясняется ее прочностными характеристиками и универсальностью. Этот вид стали составляет большую часть ассортимента металлопроката, включая такие изделия, как швеллеры, двутавровые балки, металлические уголки, большую часть труб и горячекатаный листовой металл. Из-за своих свойств горячекатаная сталь часто используется в производстве строительных металлоконструкций, где требуется высокая прочность и надежность. На пожаре при нагреве до 600-650°C в горячекатаных сталях практически не происходит заметных структурных изменений, фиксация которых позволила бы после пожара определить, до какой температуры нагревалась конструкция.

Термическое воздействие на металлы и сплавы изменяет их физические свойства и внутреннюю структуру. В результате этого изменяются не только внутренние характеристики этих материалов, но и на их поверхности появляются слои окалины. Формирование заметного слоя на горячекатаных металлических конструкциях происходит при температуре свыше 650°C. Окалина представляет собой слой окислов железа.

Анализ окалины является одним из наиболее удобных методов исследования стальных конструкций на пожаре и определение очага [4-8]. При определенных температурах на поверхности появляется слой окалины, который позволяет определить температуру и длительность теплового воздействия на стальную конструкцию при пожаре. В определении компонентного состава используется рентгенофазовый анализ.

Чем больше температура нагрева, тем больше толщина окалины, а так же наблюдаются изменения в ее фазовом составе, увеличении количества вустита, и снижением других компонентов. В процессе образования окалины одним из ключевых аспектов является время, в течение которого материал подвергается термическому воздействию. Именно продолжительность этого воздействия играет решающую роль в формировании толщины образующегося слоя окалины. Следует отметить, что чем дольше материал остается под влиянием высоких температур, тем более значительным становится слой окалины. Благодаря этим закономерностям, зная толщину окалины и ее компонентный состав можно определить температуру и длительность теплового воздействия на стальную конструкцию в условиях пожара.

Сущность методики заключается в определении компонентного состава окалины стальной конструкции и в определении толщины слоя окалины. Методика состоит из проведения основных этапов: анализ стали по месту отбора проб окалины, измерение толщины окалины и рентгеноструктурный анализ.

Для выполнения исследования по данной методике конструкция должна быть выполнена из стали обыкновенного качества, либо из углеродистой качественной стали, потому что большое значение на процесс образования окалины оказывает хром, в стальных конструкциях обыкновенного качества и углеродистых не превышает 0,3%, а в стальных конструкциях из нержавеющей стали содержание хрома превышает 12%.

Для проведения исследования нами был использован стальной лист углеродистой марки Ст3 (Рис.1), который разрезался на 24 части в форме прямоугольников размером примерно 5*10 см. Перед проведением исследования и помещением образцов в муфельную печь, стальные объекты зачищались наждачной бумагой, очищались от загрязнений и ржавчины.

Для того чтобы образовалась окалина на стальной конструкции при определенных температурах в работе использовалась муфельная печь LF-5/11-G1.

Отжиг объектов производился при температуре 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, временные рамки – 20, 40, 60 минут. Остывание стальных объектов происходило естественным путем.

Измерение толщины окалины при разных температурных воздействиях производилось при помощи механического микрометра 0-25 мм с шагом измерения 0,01 мм.

Рентгенофазовый анализ образцов окалины осуществлялся на минидифрактометре ДР-01 «Радан».



Рис.1. – Стальные листы марки Ст3

При проведении исследования с металлического объекта были отобраны только те слои окалины, которые не были сбиты и плотно прилегали к основному металлу. Данное требование необходимо соблюдать, для того, чтобы получить достоверные результаты. На Рис.2,3 наглядно показан внешний вид образцов после температурного воздействия 700°C и 950°C соответственно.

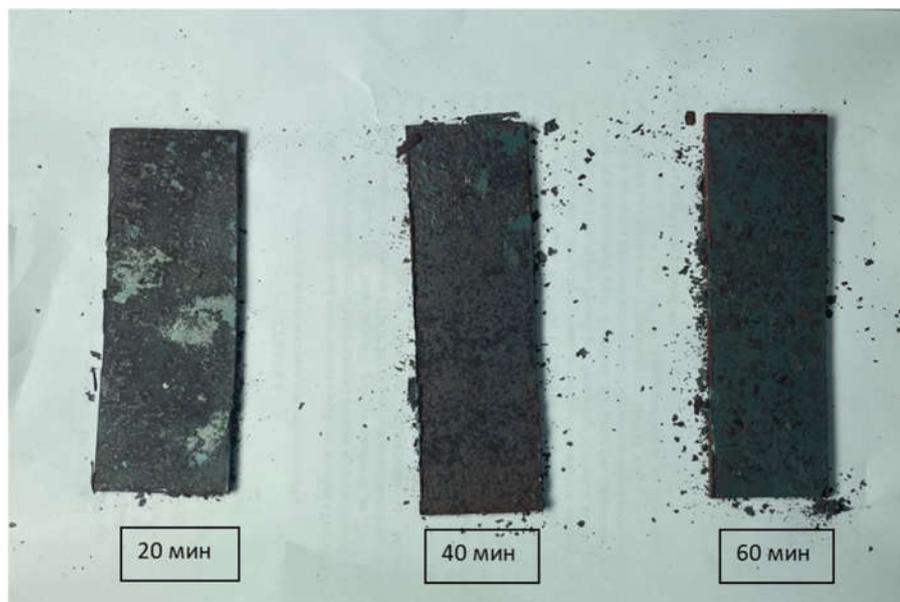


Рис.2. – Внешний вид образцов после температурного воздействия 700°C

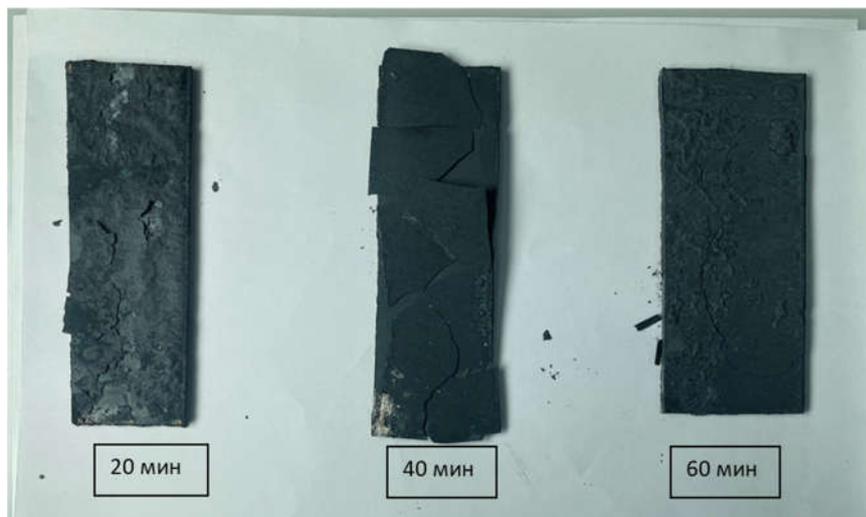


Рис.3. – Внешний вид образцов после температурного воздействия 950°C

Отбор пробы поверхностной и легко отделяемой окалины, осуществлялся при помощи таких инструментов, как скальпель, канцелярский нож. Если окалина прилегала достаточно плотно, то отколоть ее можно было при помощи стамески и молотка. Полученная окалина собиралась и подвергалась изучению. Первоначально с помощью микрометра исследовалась толщина окалины, оставшаяся часть окалины тщательно растиралась в ступке для дальнейшего рентгенофазового анализа.

Измерения толщины окалины были проведены на различных осколках окалины и рассчитана средняя толщина слоя окалины - h_{cp} . Данные измерения проводились при помощи микрометра 0-25 мм и приведены в Табл.1. Средняя толщина окалины нужна для дальнейшей оценки температурного воздействия на стальной объект в точке отбора пробы и его длительности, как и процентное содержание фазовых компонентов.

Табл.1. – Значение средней толщины окалины исследуемых образцов h_{cp}

Время, мин	Температура, °С							
	650	700	750	800	850	900	950	1000
20	>> 0,01	0,02	0,02	0,05	0,10	0,12	0,15	0,24
40	>> 0,01	0,02	0,03	0,05	0,12	0,15	0,17	0,36
60	>> 0,01	0,03	0,04	0,06	0,14	0,17	0,24	0,49

В Табл.1 приведены данные толщины окалины, образующейся на стальных горячекатаных объектах в зависимости от времени и величины температурного воздействия. Установлено, что увеличение толщины окалины начинается при температурах 700-750°C, однако при проведении исследований в пожарно-технической экспертизе значение средней толщины окалины данных температур не используется, так как может иметь «непожарное» происхождение.

Анализ фазового состава окалины проводился с помощью минидифрактометра ДР-01 «Радан», рентгеновская трубка с медным анодом.

После проведения рентгеновской съемки были получены дифрактограммы образцов окалины при каждой температуре и времени. Для расшифровки и расчетов на дифрактограмме выбирается три максимума оксида железа с определенным межплоскостным расстоянием (Рис.4).

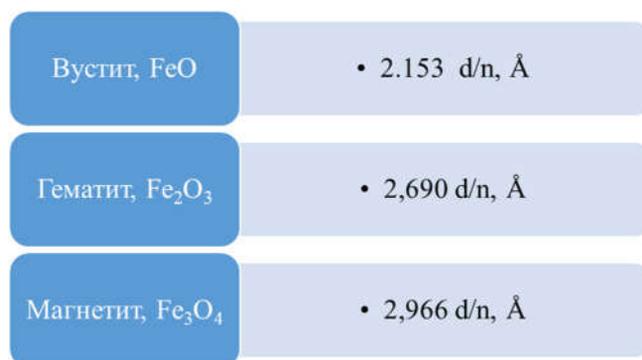


Рис.4. – Соотнесение форм оксида железа с межплоскостным расстоянием

Расчет интегральных интенсивностей аналитических пиков определяется как площадь, ограниченная дифракционными максимумами. Расчет концентраций фаз вустита (C_w), гематита (C_H), магнетита (C_M) проводится по формулам 1, 2, 3 [5].

$$C_w = 100 / [1 + 4,525 * (I_M / I_w) + 2,756 * (I_H / I_w)], \% \quad (1)$$

$$C_M = 100 / [1 + 0,609 * I_H / I_M + 0,221 * (I_w / I_M)], \% \quad (2)$$

$$C_H = 100 / [1 + 0,363 * (I_w / I_H) + 1,642 * (I_M / I_H)], \% \quad (3)$$

где: C_w , C_M , C_H - концентрации, % масс., соответственно, вустита, магнетита, гематита;

I_w , I_M , I_H - интегральные интенсивности пиков, соответственно, вустита, магнетита, гематита.

Содержание компонентов окалины рассчитывается по формулам, вид формулы и значения зависят от того, какой материал анода использовался рентгеновской трубкой. В данном исследовании приводятся расчеты для трубки с медным анодом. На Рис.5 представлена дифрактограмма окалины образца, выдержанного при температуре 1000°C в течение 40 минут.

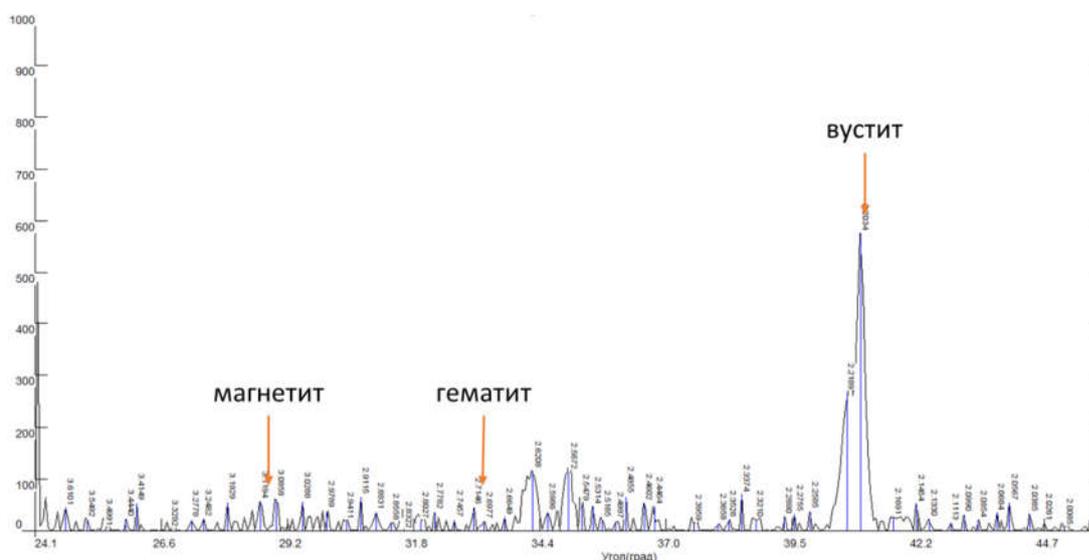


Рис.5. – Дифрактограмма окалины образца, выдержанного при температуре 1000°C в течение 40 минут

Табл.2. – Содержание вустита в окалине, полученной при температурном воздействии различной длительности

Время, мин	Температура, °C							
	650	700	750	800	850	900	950	1000
20	1,1657	5,7241	11,4522	14,4518	28,1854	30,7195	31,9656	33,7194
40	3,3247	10,0062	14,1337	24,1741	32,3723	35,0779	39,3527	40,3541
60	9,6673	21,5379	24,6294	34,5296	36,3749	41,0097	43,8392	51,8881

Чем больше содержание вустита в окалине, тем больше температурное воздействие, которому подвергался стальной объект. На основании этих данных можно построить график зависимости содержания вустита относительно температурного воздействия на стальную конструкцию, при разных температурных значениях и временных промежутках, используя содержание вустита как критерия «тепловой нагрузки» на конструкцию в различных зонах пожара. Для построения графиков используется именно содержание вустита так как, при повышении температуры его количество увеличивается, а содержания остальных компонентов, таких как гематит и магнетит уменьшается.

На Рис.6 приводится совмещенный график зависимости содержания вустита и толщины окалины, образующейся в результате температурного воздействия на горячекатанные стальные объекты.

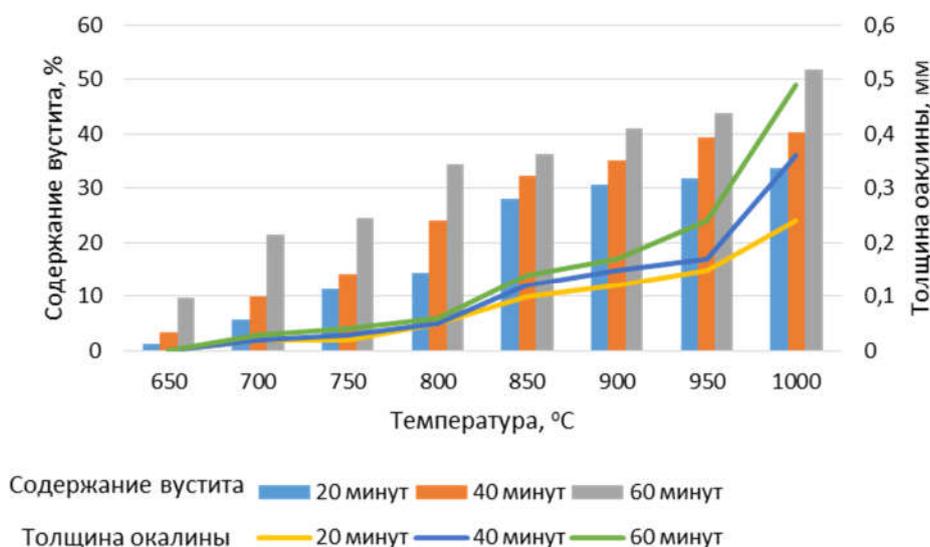


Рис.6. – График зависимости содержания вустита и толщины окалины от температуры воздействия на стальные объекты

Из графика видно, что при нагревании объекта до температуры 800°C идет плавное увеличение толщины окалины до 0,05 мм, затем при температуре 850°C идет резкое увеличение толщины окалины в 2 раза во всех временных промежутках исследования. Далее до температуры 950°C увеличение также идет плавно, толщина окалины возрастает в 1,25 раза на каждые 50°. При температуре 1000 °C также происходит резкое увеличение толщины окалины практически в 2 раза.

Далее проведя рентгеноструктурное исследование окалины, рассчитав содержание вустита, можно определить какому температурному воздействию был подвержен объект, а также длительность этого воздействия.

Таким образом, на основании проведенного эксперимента можно полагать, что изымая с места пожара окалину с поверхности горячекатанных стальных объектов в ходе пожарно-технической экспертизы можно установить диапазон температур оказавших воздействие на объект.

Следовательно, при измерении толщины окалины и изучении дифрактограмм монотипных стальных объектов на месте пожара можно предположить место, подвергшееся наибольшему температурному воздействию. Зона с экстремально высокими значениями толщины окалины и содержания в ней вустита, соответствует экстремально высоким термическим поражениям и наоборот. И после того, как были выявлены данные зоны далее можно предположить о примерном нахождении места очага пожара, который соответствует экстремально высоким термическим поражениям.

Список источников

1. Елаков А.С. Методы изучения стальных изделий в пожарно-технической экспертизе / Елаков А.С. // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году культуры безопасности, Иваново, 29–30 ноября 2018 года. Том Часть 1. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2018. – С. 83-87.
2. Талай И.Я. Методы исследования стальных изделий, применяемые в пожарно-технической экспертизе / Талай И.Я., Долгушина Л.В. // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 21 апреля 2023 года. – Железногорск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирская пожарно-спасательная академия" Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий", 2023. – С. 51-53.
3. Чешко И.Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования) / Под науч. ред. канд. юр. наук Андреева Н.А. - 2-е изд., стереотип. - СПб.: СПбИПБ МВД России. 1997. - 562 с.
4. Соколова А.Н., Чешко И.Д. Применение инструментальных методов и технических средств экспертизы пожаров: Сборник методических рекомендаций / Соколовой А.Н., Чешко И.Д. СПб.: СПб филиал ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2018. 279 с.
5. Пивоварова К.Г. Обеспечение качества поверхности высокоуглеродистой стальной катанки / Пивоварова К.Г. // Теория и технология металлургического производства. – 2021. – № 3(38). – С. 24-29.
6. Никифоров А.В. Методы исследования холоднодеформированных стальных изделий в экспертных целях / Никифоров А.В. // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности: Материалы III Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 20 марта 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2020. – С. 52-54.
7. Галишев М.А., Бельшина Ю.Н., Дементьев Ф.А., Сикорова Г.А. Пожарно-техническая экспертиза: Учебник // СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2014. 453 с.
8. Парийская А.Ю., Мокряк А.Ю., Бельшина Ю.Н. и др. Рентгеновские методы анализа в судебной пожарно-технической экспертизе: Учебное пособие. // СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2017. – 84 с.
9. Сикорова Г.А., Смирнов В.А. Методика изъятия и исследованию стальных изделий в пожарно-технической экспертизе // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. Т. 1. № 1 (5). С. 304-308.
10. Моторыгин Ю.Д., Сикорова Г.А. Регрессионная модель степени термического поражения холоднодеформированных стальных элементов транспортных средств // Техносферная безопасность. 2021. № 3 (32). С. 51-59.
11. Якупов И.Ф., Галкин С.А., Топилкин П.С. Способ оценки температуры нагрева стальных конструкций по результатам исследования толщины и состава окалина // Научные исследования молодых учёных: сборник статей XV. – 2021. – С. 13.

References

1. Elakov A.S. Methods of studying steel products in fire technical examination / Elakov A.S. // Fire and emergency safety : proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference dedicated to the Year of Safety Culture, Ivanovo, November 29-30, 2018. Volume Part 1. - Ivanovo: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ivanovo Fire and

Rescue Academy of the State Fire Fighting Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters”, 2018. - С. 83-87.

2. Talai I.Y. Methods of steel products examination used in fire technical expertise / Talai I.Y., Dolgushina L.V. // Actual problems of fire safety and protection from emergency situations: Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, April 21, 2023. - Zheleznogorsk: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Siberian Fire and Rescue Academy” of the State Fire Fighting Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Natural Disasters”, 2023. - С. 51-53.

3. Cheshko I.D. Expertise of fires (objects, methods, methods of research) / Under the scientific editorship of candidate of juridical sciences N.A. Andreev. - 2nd edition, stereotype. - SPb.:SPbIPB of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 1997. - 562 с.

4. Sokolova A.N., Cheshko I.D. Application of instrumental methods and technical means of examination of fires: Collection of methodical recommendations / Sokolova A.N., Cheshko I.D. SPb.: SPb branch of FSU VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2018. 279 с.

5. Pivovarova K.G. Ensuring the surface quality of high-carbon steel rod / Pivovarova K.G. // Theory and technology of metallurgical production. - 2021. - № 3(38). - С. 24-29.

6. Nikiforov A.V. Methods of investigation of cold-formed steel products for expert purposes / A. V. Nikiforov // Theoretical and applied issues of complex security: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, March 20, 2020. - St. Petersburg: St. Petersburg University of the State Fire Fighting Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, 2020. - С. 52-54.

7. Galishev M.A., Belshina Y.N., Dementiev F.A., Sikorova G.A. Fire technical expertise: Textbook // St. Petersburg: St. Petersburg University of the State Fire Protection Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2014. 453 с.

8. Pariyskaya A.Y., Mokryak A.Y., Belshina Y.N. et al. X-ray methods of analysis in forensic fire-technical examination: Study guide // - St. Petersburg: St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2017. - 84 с.

9. Sikorova G.A., Smirnov V.A. Methods of seizure and examination of steel products in fire technical examination // Fire safety: problems and prospects. 2014. Т. 1. № 1 (5). С. 304-308.

10. Motorygin Yu.D.; Sikorova G.A. Regression model of the degree of thermal damage of cold-deformed steel elements of vehicles // Technospheric safety. 2021. № 3 (32). С. 51-59.

11. Yakupov I.F., Galkin S.A., Topilkin P. S. Method for estimating the heating temperature of steel structures based on the results of the study of thickness and composition of scale // Scientific research of young scientists: Collection of Articles XV. - 2021. - С. 13.

Информация об авторах

Л.В. Долгушина – кандидат химических наук, доцент

А.С. Горбунов – кандидат технических наук

Information about the author

L.V. Dolgushina - Ph.D. of Chemical Sciences, Docent

A.S. Gorbunov - Ph.D. of Technical Sciences

Статья поступила в редакцию 29.07.2024, одобрена после рецензирования 22.08.2024, принята к публикации 01.09.2024.

The article was submitted 29.07.2024, approved after reviewing 22.08.2024, accepted for publication 01.09.2024.

Научная статья
УДК 630*435
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.60.58.023

Оптимизация расходов огнетушащих средств при тушении ландшафтных и лесных пожаров беспилотными авиационными системами

Сергей Петрович Амельчугов¹
Алексей Николаевич Батуро¹
Александр Сергеевич Симоненко¹
Виталий Андреевич Негин²

¹Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

²ООО «Автоматические системы пожаротушения», Красноярск, Россия

Автор ответственный за переписку: Сергей Петрович Амельчугов, asp-911@yandex.ru

Аннотация: в статье анализируются ключевые принципы защиты населенных пунктов, промышленных объектов и специальных территорий от лесных и ландшафтных пожаров. Рассмотрены подходы к организации эффективной защиты, включающие тесное взаимодействие с местными органами власти, создание пожарных команд и использование имеющихся сил и средств пожаротушения. Особое внимание уделяется применению авиации малой и средней грузоподъемности, включая вертолеты с водосливными устройствами, а также специализированные самолеты, такие как ИЛ-76 и БЕ-200, для активного тушения пожаров. Одной из перспективных технологий является использование беспилотных летательных систем (БПЛА), однако их широкое внедрение сдерживается отсутствием нормативно-правовой базы и недостаточной изученностью параметров подачи огнетушащих веществ, таких как вода. В статье приведены расчеты, позволяющие определить объем огнетушащих средств, необходимых для тушения пожара с помощью БПЛА, и даны рекомендации по их оптимизации. Также обсуждаются задачи, связанные с повышением эффективности подачи воды и возможностью использования добавок к воде для увеличения результативности тушения. Представленные результаты могут быть основой для дальнейшего развития технологий пожаротушения с участием БПЛА.

Ключевые слова: противопожарная защита, насадок, спрыск, струя, пожарный ствол, кинематическая вязкость, вода

Для цитирования: Амельчугов С.П., Батуро А.Н., Симоненко А.С., Негин В.А. Научные основы поиска технических решений дальних водяных струй. // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 237-241. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.60.58.023>.

SCIENTIFIC FOUNDATIONS OF THE SEARCH FOR TECHNICAL SOLUTIONS FOR LONG-RANGE WATER JETS

Sergey P. Amelchugov¹
Aleksey N. Baturon¹
Aleksandr S. Simonenko¹
Vitaly A. Negin²

¹Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

²LTD automatic fire extinguishing systems, Krasnoyarsk, Russia

Corresponding author: Sergey P. Amelchugov, asp-911@yandex.ru

Abstract: the article analyzes the main principles of protection of settlements, industrial facilities and special territories against forest and landscape fires. Approaches to the organization of effective protection are considered, including close cooperation with local authorities, creation of firefighting teams and use of available firefighting forces and means. Special attention is given to the use of small and medium sized aircrafts, including helicopters with water dropping devices, as well as specialized aircraft, such as IL-76 and BE-200, for active firefighting. One of the promising technologies is the use of unmanned aerial systems (UAS), but their widespread implementation is hampered by the lack of a regulatory framework and insufficient study of the parameters of delivery of extinguishing agents such as water. This paper presents calculations to determine the amount of extinguishing agent required for firefighting with UAVs and provides recommendations for their optimization. It also discusses the challenges associated with improving the efficiency of water delivery and the possibility of using water additives to increase extinguishing performance. The results presented can serve as a basis for further development of firefighting technologies using UAS.

Key words: fire protection, nozzle, jet, fire barrel, kinematic viscosity, water

For citation: Amelchugov S.P., Baturо A.N., Simonenko A.S., Negin V.A. Scientific foundations of the search for technical solutions for long-range water jets // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024; 3(34): 237-241. (In Russ.). <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.60.58.023>.

Основными принципами защиты населенных пунктов, специальных объектов и объектов экономики от лесных пожаров являются: сохранение уровня защиты от пожаров жилых и промышленных объектов; максимальное использование для тушения ландшафтных и лесных пожаров имеющихся в районе сил и средств пожаротушения; тесное взаимодействие и взаимопонимание с местными органами исполнительной и законодательной власти. В целях защиты населенных пунктов, специальных объектов и объектов экономики от лесных пожаров административными органами в лесных регионах организуются пожарные команды, опорные пункты и другие подразделения.

С целью активного воздушного пожаротушения используется преимущественно авиация малой и средней грузоподъемности – авиатанкеры (наземного базирования и амфибии) и вертолеты с модульными водосливными устройствами. Создаются специализированные самолеты на базе серийных самолетов, а также модули для самолетов гражданской и военной авиации. Разрабатываются водосливные устройства различного типа и исполнения для вертолетов серийного производства. При катастрофических лесных пожарах дополнительно используются специализированные самолёты типа ИЛ-76, БЕ-200.

С развитием беспилотных летательных аппаратов актуальным становится вопрос применения беспилотных летательных систем (далее БАС) для тушения ландшафтных и лесных пожаров. Однако применение БАС сдерживается отсутствием нормативно-правовой базы тушения пожаров с помощью БПЛА. Одним из проблемных вопросов остается малая изученность интенсивности подачи огнетушащих веществ, прежде всего воды, на тушение лесных растительных материалов.

В данной статье приведены результаты ряда исследований, направленных на достижение поставленной цели – повышение эффективности пожаротушения на лесных территориях и территориях, прилегающих к населенным пунктам. Именно расходные характеристики огнетушащих веществ определяет тактику, а следовательно, людские и материальные ресурсы необходимые для пожаротушения.

В работах [4-6] широко представлены параметры пожаротушения зданий, сооружений и других объектов в застройке населенных пунктов, включая механизмы прекращения горения, интенсивность подачи и удельный расход огнетушащих веществ, боевые действия подразделений пожарной охраны, сосредоточение и введение сил и средств на пожаре, тактические возможности пожарных подразделений и другое. Предложено, что успех тушения пожара достигается совместными наступательными действиями всех участников тушения и во многом зависит от своевременного введения в действие первого ствола на решающем

направлении. Решающим направлением боевых действий на пожаре является направление, на котором использование сил и средств пожарной охраны обеспечивает наилучшее условия решения основной боевой задачи.

Не вдаваясь в детали всех методов ограничения распространения пожаров, остановимся на применении огнетушащих веществ, которые подаются непосредственно на горящую поверхность по периметру очага пожара и вдоль фронта его распространения, формируя полосу тушения. Этот способ позволяет эффективно остановить дальнейшее распространение огня. Он является наиболее распространенным, так как не только останавливает горение, но и способствует его полной ликвидации, что делает его наиболее целесообразным в большинстве случаев. Создать полосу тушения водой можно из ручных и лафетных стволов, распылением воды с самолетов и вертолетов и т.д.

Объем работ, выполняемых при тушении лесного или ландшафтного пожара, складывается из тактических возможностей подразделений, входящих в его состав. Объем работ и тактические возможности подразделений во многом зависят от вида огнетушащих веществ и вида использования БПЛА для пожаротушения, и ограничивается площадью пожара, которую можно потушить из емкости БПЛА.

Площадь пожара, которую способен потушить данный объем огнетушащего вещества, находящегося в БПЛА, рассчитывается по следующей формуле:

$$S_n = W / I \cdot \tau \quad (1)$$

где S_n — площадь тушения пожара, м²;

W — объем огнетушащего вещества, л;

I — интенсивность подачи огнетушащего вещества, л/с · м²;

τ — время работы насадка от емкости БПЛА, с.

Наличие площади пожара, которую можно потушить БПЛА позволяет произвести расчет сил и средств на тушение ландшафтного или лесного пожара.

Для расчета необходимых сил и средств используются следующие исходные данные: характеристика земель и типов леса с учетом опасности распространения низовых ландшафтных пожаров и дымовых шлейфов; время от момента возникновения пожара до его обнаружения и сообщения; линейная скорость распространения огня (по фронту пожара); количество сил и средств, выделенных для тушения, и время их сосредоточения; а также интенсивность подачи огнетушащего вещества.

Сложность учета площади пожара объясняется не только типологией леса, сколько комплексным показателем пожарной опасности по условиям погодных данных (далее – КППО), а также временным фактором тушения пожара. Таким образом, площадь пожара зависит не только от вида лесных горючих материалов, но и от их влажностного состояния, однако в любом случае площадь пожара ограничивается кромкой лесного пожара и его фронтом. Ширина кромки в зависимости от ЛГМ и направления ветра может составлять от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров [7].

В зависимости от выбранной тактики тушения пожара, основной расчетной характеристикой является площадь тушения S_T - часть площади пожара, на которую подается огнетушащее вещество. Глубина тушения ограничивается дальность полета водяной струи при условии безопасного нахождения БПЛА от теплового и конвективных потоков. В ряде случаев подача огнетушащего вещества на всю площадь пожара сразу оказывается невозможной, например, из-за нехватки ресурсов или недостаточной дальности подачи струй. В таких ситуациях тушение проводится по фронту распространения огня — на участке, составляющем часть общей площади пожара. В этом случае огонь локализуется на ключевом направлении, после чего тушение продолжается на других участках.

Интенсивность подачи огнетушащего воды для тушения лесного или ландшафтного пожара в зависимости от типа леса и КППО предложена в [3]. Однако, следует отметить, что

вода достаточно легко скатывается в поверхности ЛГМ и не участвует в пожаротушении, поэтому целесообразно применять добавки к воде, которые как показано в [8] позволяют снижать расход воды при тушении лесных низовых пожаров в 2-3 раза. Для тушения пожаров с ЛГМ необходимо учитывать температуру окружающего воздуха, например, известно, что в утренние часы, когда выпадает роса, тушение лесного пожара происходит значительно быстрее.

Таки образом, основным параметрами для определения расходов огнетушащих средств при тушении ландшафтных и лесных пожаров беспилотными авиационными системами будут являться массогабаритные характеристики БПЛА и их водяных устройств, удаление от места оператора до пожара и время на восстановление ресурсов БПЛА (установка аккумуляторов и емкостей с водой).

При разработке дронов и их модулей пожаротушения следует исходить, что подача воды будет осуществляться из-за крон деревьев [9], поэтому тактико-техническое задание должно предусматривать объем огнетушащего вещества не менее 50 л, насадки для подачи воды с дальностью струи не менее 15 м при расходе 0,25-0,3 л/с, применение быстростъемных креплений баков и аккумуляторов, полет на дальность не менее 7 км.

Вывод: для оптимизации расходов огнетушащих средств при тушении ландшафтных и лесных пожаров беспилотными авиационными системами следует применять расчетное количество дронов.

Список источников

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений // справочно-правовая система «КонсультантПлюс»: сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения 30.08.2024).
2. Федеральный закон [Электронный ресурс]: с изм. и доп. Дата обновления: 02.07.2023. Доступ из системы ГАРАНТ // справочно-правовая система «КонсультантПлюс»: сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798/c5051782233acca771e9adb35b47d3fb82c9ff1c/ (дата обращения 30.08.2024).
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности, Федеральный закон [Электронный ресурс]: с изм. и доп. Дата обновления: 19.10.2023. Доступ из системы ГАРАНТ // справочно-правовая система «КонсультантПлюс»: сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения 30.08.2024).
4. Батуро А.Н., Симоненко А.С., Амельчугов С. П., Гольчевский В.Ф., Негин В.А. Тушение ландшафтных пожаров с применением роя беспилотных авиационных систем.
5. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. М.: Стройиздат, 1987. 288 с.
6. Повзик Я.С., Ключ П.П., Матвейкин А.М. Пожарная тактика: учебник для пожарно-технических училищ. М: Стройиздат, 1990. 335 с.
7. Повзик Я. С. Пожарная тактика: М.: ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА», 2004. - 416 с. ISBN 5-901018-39-7.
8. Карнаухов А.И., Кухар И.В., Орловский С.Н. Пожары. Технология и практика тушения [Электрон. изд.]: учебное пособие для студентов направления 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» и 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» очной формы обучения /– Красноярск: СибГТУ, 2015 — 92 с.
9. Гуцев Н.Д., Михайлова Н.В., Грабежева Н.А. Исследование зависимости времени смачивания лесных горючих материалов от величины поверхностного натяжения растворов смачивателей и пенообразователей // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства № 3, 2015.
10. Середа Э.А., Аксенов С.Г. Применение беспилотных авиационных систем при тушении лесных пожаров // Экономика строительства. – 2023. – № 8. – С. 34-37.
11. Усмонов Б.Ш., Дадабоева Д.И., Хакимова М.У.К. Беспилотное летательное устройство в сельском хозяйстве // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2022. – Т. 2. – №. 6. – С. 101-123.

References

1. Technical regulations on the safety of buildings and structures // reference and legal system "ConsultantPlus": website. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (date of access 08.30.2024).
2. Federal Law [Electronic resource]: with amendments and add. Date of update: 02.07.2023. Access from the GARANTEE system // reference and legal system "ConsultantPlus": website. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798/c5051782233acca771e9adb35b47d3fb82c9ff1c/ (date of access 30.08.2024).
3. Baturо A.N., Simonenko A.S., Amelchugov S.P., Golchevsky V.F., Negin V.A. Extinguishing landscape fires with the use of unmanned aviation systems swarms.
4. Ivannikov V.P., Klus P.P. Handbook of the Fire Fighting Manager. Moscow: Stroyizdat, 1987. 288 c.
5. Povzik Ya.S., Klus P.P., Matveikin A.M. Fire tactics: textbook for fire technical schools. M: Stroyizdat, 1990. 335 c.
6. Povzik Y.S. Fire tactics: M.: CJSC “SPETSTECHNIKA”, 2004. - 416 c. ISBN 5-901018-39-7.
7. Karnaukhov A.I., Kukhar I.V., Orlovsky S.N. Fires. Technology and practice of extinguishing [Electronic edition]: textbook for students of 23.03.02 “Land transport and technological complexes” and 20.03.02 “Environmental management and water use” full-time education / - Krasnoyarsk: SibGTU, 2015 - 92 p.
8. Gutsev N.D., Mikhailova N.V., Grabezheva N.A. Study of the wetting time dependence of forest combustible materials on the surface tension of solutions of wetting agents and foaming agents // Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry №. 3, 2015.
9. Sereda E.A., Aksenov S.G. Application of unmanned aerial systems in forest fire suppression // Economics of Construction. G. Application of unmanned aircraft systems in extinguishing forest fires // Construction Economics. - 2023. - №. 8. - C. 34-37.
10. Usmonov B.Sh., Dadaboyeva D.I., Khakimova M.U.K. Unmanned aerial device in agriculture // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. - 2022. - T. 2. - №. 6. - C. 101-123.

Информация об авторах

С.П. Амельчугов - доктор технических наук
А.Н. Батуро – кандидат технических наук, доцент
Information about the author
S.P. Amelchugov - Doctor. of Engineering Sciences
A.N. Baturо - Ph.D. of Engineering Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.07.2024, одобрена после рецензирования 02.09.2024, принята к публикации 19.09.2024.

The article was submitted 30.07.2024, approved after reviewing 02.09.2024, accepted for publication 19.09.2024.

Научная статья
УДК 614.846: 614.847
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.65.24.024

Тенденции и перспективы развития производства высотно-спасательных автомобилей в России и ближнем зарубежье

*Алексей Иванович Преснов*¹
*Михаил Анатольевич Марченко*²
*Николай Михайлович Лоран*³

^{1,2} Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

¹<https://orcid.org/0000-0002-2491-630X>

³ Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

Автор ответственный за переписку: Алексей Иванович Преснов alexeypresnov@mail.ru

Аннотация. В статье представлена информация о текущем состоянии разработки и производства высотно-спасательных автомобилей (ВСА) в Российской Федерации, а также об изменениях в нормативной базе, регулирующей данное направление. Проанализировано влияние международных и национальных стандартов, включая Технический регламент Евразийского экономического союза (ТР ЕАЭС 043/2017) и обновленные ГОСТы, на процессы проектирования, производства и эксплуатации высотной техники. Рассмотрены конструктивные особенности, а также ключевые технические характеристики пожарных автолестниц и автоподъемников отечественных производителей. Проведен детальный анализ текущего состояния производства пожарных автолестниц, автоподъемников и других типов ВСА в России. Сделан вывод о современных тенденциях и перспективах развития отечественного производства высотно-спасательной техники в условиях импортозамещения.

Ключевые слова: производство, перспектива, стандарт, пожарная автолестница, пожарный автоподъемник, параметр, соответствие

Для цитирования: Преснов А.И., Марченко М.А., Лоран Н.М. Тенденции и перспективы развития производства высотно-спасательных автомобилей в России и ближнем зарубежье // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 242-250. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.65.24.024>.

TRENDS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF HIGH-ALTITUDE RESCUE VEHICLES PRODUCTION IN RUSSIA AND NEIGHBORING COUNTRIES

*Alexey I. Presnov*¹
*Michael A. Marchenko*²
*Nikolay M. Loran*³

^{1,2} Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,

¹<https://orcid.org/0000-0002-2491-630X>

³ Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

Corresponding author: Alexey I. Presnov alexeypresnov@mail.ru

Abstract. The article presents information about the current state of development and production of high-altitude rescue vehicles (HAR) in the Russian Federation, as well as changes in the regulatory

framework governing this area. The influence of international and national standards, including the Technical Regulations of the Eurasian Economic Union (TR EAEU 043/2017) and updated GOSTs, on the processes of design, production and operation of high-altitude vehicles is analyzed. Design features as well as key technical characteristics of fire-fighting aerial ladders and aerial elevators of domestic manufacturers are considered. A detailed analysis of the current state of production of fire-fighting aerial ladders, aerial elevators and other types of aerial vehicles in Russia is carried out. The conclusion is made about the current trends and prospects of development of domestic production of high-altitude rescue equipment under the conditions of import substitution.

Keywords: production, perspective, standard, fire truck ladder, fire truck lift, parameter, accordance

For citation: Presnov A.I., Marchenko M.A., Loran N.M. Trends and prospects for the development of high-altitude rescue vehicles production in Russia and neighboring countries // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024; 3(34): 242-250. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.65.24.024>.

Введение

Высотно-спасательные автомобили (далее ВСА) составляют основу высотно-спасательной техники и представляют собой технические средства на автомобильном шасси оборудованные стрелой (пакетом колен) для обеспечения проведения аварийно-спасательных работ с высотных уровней.

В настоящее время в России разработкой и производством ВСА занимается множество компаний и предприятий, среди которых можно выделить: ООО «компания МИРО», г. Смоленск; ООО «Приоритет», г. Миасс Челябинской области; компания «Мега Драйв», г. Мытищи Московской области; ООО «Компания ВИТАНД», г. Москва и другие. Из ближнего зарубежья необходимо отметить ООО «ПОЖСНАБ» (г. Борисов, республика Беларусь), где освоено изготовление полного цикла высотной техники.

Сегодня, в результате перехода отечественных стандартов на межгосударственную систему стандартизации и создания единой таможенной территории и образования Евразийского экономического союза, ВСА, как мобильные средства пожаротушения должны соответствовать требованиям межгосударственных стандартов - Технический регламент Евразийского экономического союза "О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения" (ТР ЕАЭС 043/2017) [1], а также (с 1 июля 2024 года) требованиям ГОСТ 34727-2021 «Межгосударственный стандарт. Техника пожарная. Автоподъемники пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний» [2] и ГОСТ 34729-2021 «Межгосударственный стандарт. Техника пожарная. Автолестницы пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний» [3] (далее – новые ГОСТы).

Аналитическая часть

Новые ГОСТы [2] и [3] были разработаны на основе Российских стандартов на пожарные автолестницы и автоподъемники (далее АЛ и АПК) ГОСТ Р 52284-2004 [4] и ГОСТ Р 53329-2009 [5], при сохранении прежних значений типоразмеров и исполнений. Так, АЛ, в различных исполнениях имеют следующие типоразмеры [3]: 10–15 м, 16–20 м, 21–25 м, 26–31 м, 32–40 м, 41–52 м и 53–60 м. АПК [2] следует изготавливать с максимальной высотой подъема люльки: 10–15 м, 16–21 м, 22–28 м, 29–36 м, 37–48 м, 49–56 м, 57–64 м и высотой более 64 метра по техническим условиям при обеспечении безопасности. Как уже отмечалось в работах [6] и [7] ВСА эффективны для работы на высоте до 55 метров. Использовать АПК с рабочей высотой свыше 55 метров целесообразно для защиты высотных объектов, при условии их дислокации на расстоянии, обеспечивающим своевременное прибытие на место вызова, а также наличия специально подготовленных площадок для их развёртывания.

Межгосударственные стандарты [2] и [3] (по отношению к прежним [4] и [5]) указывают на применение в системах управления компьютерных технологий и автоматизации, усиливают требования в плане блокировок движения и сигнализации, расширяют диапазон значений контрольных параметров при грузовых испытаниях, вводят в обращение новые термины и обозначения и другое. Более подробно сравнительный анализ требований рассмотрен в работе [8].

В последние годы наиболее значимым событием в производстве АЛ и АПК в нашей стране стал уход с российского рынка ОАО «Пожтехника» (г. Торжок, Тверская область) имеющего более полувековой опыт производства ВСА. До настоящего времени ОАО «Пожтехника» было лидером в производстве отечественных ВСА. Модельный ряд данного производства включал АЛ, АПК, а также пожарные автоцистерны с лестницей и пожарные пеноподъёмники высотой от 17 до 60 метров. На сегодня ВСА ОАО «Пожтехника» занимают доминирующее положение в пожарно-спасательных подразделениях России.

В настоящее время отечественные компании «МИРО» и «Мега Драйв» на базе АО «Завидовский экспериментально-механический завод» осуществляют серийный выпуск 30-ти метровых АЛ (Табл.1). Пожарные автолестницы имеют следующие особенности. Для обеспечения безопасной работы они оборудованы микропроцессорной системой безопасности ОГМ-240 отечественного производителя ООО НПП «Резонанс», особенности, применения которого изложены в работе [9]. На них установлены регулируемые гидронасосы с автоматическим изменением рабочего объёма и соответственно подачи в зависимости от нагрузки. В системах их управления реализована функция замедления скорости движения стрелы при достижении границ рабочего поля и крайних положениях исполнительных механизмов. Для обогрева рабочей жидкости при низких температурах окружающего воздуха их масляные баки оборудованы ТЭНами. Кронштейн для крепления спасательного рукава имеет несколько положений. Кроме того, АЛ-30(43206)01А-3М оборудована автоматической системой установки на выносные опоры.

Табл.1. Основные показатели 30-ти метровых пожарных автолестниц

Показатели	Параметры	
	АЛ-30(43502)01А-СМ	АЛ-30(43206)01А-3М
Изготовитель	ООО «компания МИРО»	АО «Завидовский экспериментально-механический завод»
Базовое шасси	КамАЗ-43502	Урал 43206, NEXТ
Колёсная формула	4x4	
Максимальная рабочая высота подъема, м	30	
Максимальная рабочая нагрузка на вершину неприслоненной лестницы, кг	160	
Грузоподъемность лестницы при её использовании в качестве крана, т	1	
Максимальная равномерно распределенная нагрузка на полностью выдвинутую и неприслоненную лестницу при максимальном вылете, кг	160	
Максимальная равномерно распределенная нагрузка на полностью выдвинутую лестницу с прислоненной вершиной при максимальном вылете, кг	400 (до 4-х человек по одному на каждое колено)	
Максимальный вылет стрелы от оси вращения подъёмно-поворотного устройства, м с максимальной нагрузкой на вершине		

без нагрузки на вершине	16 20	
Максимальная рабочая нагрузка на кронштейн спасательного рукава при вылете 16 м и неприслоненной лестнице, кг	нет данных	135
Рабочий диапазон подъёма лестницы в вертикальной плоскости, град	от минус 7 до плюс 75	
Минимальный угол подъема стрелы, при котором возможен ее поворот на 360°, град, не более	10	
Угол поворота стрелы (вправо и влево) при круговом вращении, град	360	
Минимальный вылет стрелы при ее максимальной длине, м	6,75	6,0
Максимальная ширина опорного контура, м	3,5	
Время установки на выносные опоры, с	50	
Время маневров стрелы при максимальной скорости движения без нагрузки, с:		
- при подъеме от минимального угла до максимального	45	
- опускании от максимального угла до минимального	40	
- выдвигании на полную длину при максимальном угле подъема стрелы	40	
- сдвигании (полном) при максимальном угле подъема стрелы	35	
- повороте на 360° вправо или влево при сдвинутом и поднятом на максимальный угол комплекте колен	50	
Габаритные размеры в транспортном положении (длина x ширина x высота), м	9,4 x 2,5 x 3,5	9,4 x 2,5 x 3,6

В соответствии с требованиями [2] и [3] компаниями в ООО «Мега Драйв» и «Приоритет» на длиннбазовых шасси Урал с35510 и КамАЗ-6520 освоено выпуск 52-метровых АЛ (Табл.2). АЛ-52(с35510) - с шарнирно закреплённой люлькой на вершине стрелы по подобию АЛ немецкой фирмы «IVEKO MAGIRUS», АЛ-52(6520) - со специальной съёмной откидной платформой для крепления спасательного рукава и съёмной люлькой без панели управления, которые можно рассмотреть, как альтернативу самой распространённой последние годы в России АЛ-50(65115)ПМ-513Б производства ОАО «Пожтехника».

Табл.2. Основные показатели 52-х метровых пожарных автолестниц

Показатели	Параметры	
	АЛ-52(с35510)	АЛ-52(6520)
Изготовитель	ООО «Мега Драйв»	ООО «Приоритет»
Базовое шасси	Урал с35510	КамАЗ-6520
Колёсная формула	6x4	
Полная масса, кг	33250	29350
Максимальная рабочая высота подъема, м	52	
Максимальная рабочая нагрузка на вершину неприслоненной лестницы при максимальном вылете, кг	300	
Грузоподъемность лестницы при её использовании в качестве крана, т	2	
Максимальная равномерно распределенная	280	

нагрузка на полностью выдвинутую и неприслоненную лестницу при максимальном вылете, кг		
Максимальная равномерно распределенная нагрузка на полностью выдвинутую лестницу с прислоненной вершиной при максимальном вылете, кг	720	
Максимальный вылет стрелы от оси вращения подъёмно-поворотного устройства, м: с максимальной нагрузкой на вершине без нагрузки на вершине	18 20	
Рабочий диапазон подъёма лестницы в вертикальной плоскости, град	от минус 7 до плюс 75	
Минимальный угол подъема стрелы, при котором возможен ее поворот на 360°, град, не более	10	
Угол поворота стрелы (вправо и влево) при круговом вращении, град	360	
Грузоподъёмность съёмной люльки и (или) лифта, кг	200	
Максимальная ширина опорного контура, м	5,8	5,5
Время установки на выносные опоры, с	60	
Время маневров стрелы при максимальной скорости движения без нагрузки, с: - при подъеме от минимального угла до максимального - опускании от максимального угла до минимального - выдвигании на полную длину при максимальном угле подъема стрелы - сдвигании (полном) при максимальном угле подъема стрелы - повороте на 360° вправо или влево при сдвинутом и поднятом на максимальный угол комплекте колен	55 50 65 60 60	
Габаритные размеры в транспортном положении (длина x ширина x высота), м	12 x 2,55 x 4	12 x 2,5 x 3,95

Также вышеуказанные предприятия в соответствии с требованиями ГОСТ 34350-2017 [10] на полноприводных шасси Урал и КамАЗ производят модельный ряд пожарных автоцистерн с лестницей высотой подъёма до 30 метров включительно. Некоторые модели, например АЦЛ-4,0-50-24(420) производства ООО «Приоритет», оснащены шарнирно закреплённой люлькой на вершине стрелы. Следует отметить, что в гидросистемах ВСА ООО «Приоритет» в качестве рабочей жидкости, взамен ВМГЗ, применяются высококачественные гидравлические масла (HVLР-32), обладающие (в сравнении с ВМГЗ) высокой вязкостью и степенью чистоты, что обеспечивает более высокий уровень противоизносных свойств гидравлических систем.

Несколько сложнее обстоит в России с производством отечественных АПК. В настоящее время отсутствует альтернатива АКП-50(6540)ПМ-514Г производства ОАО «Пожтехника». При этом необходимо отметить, что в 2021 году в рамках XIII Международной выставки «Комплексная безопасность» Ивановский машиностроительный завод «Автокран» представил пожарный телескопический подъёмник с лестницей ТПЛ-32(53605) по примеру иностранных аналогов, но с более низкой стоимостью. После чего его конструкция была значительно изменена и доработана, а настоящее время данная машина находится в пробной эксплуатации.

В целом по уровню качества и производственному исполнению АЛ и АПК отечественного производства уступают зарубежным аналогам, а именно немецким фирмам «IVEKO MAGIRUS» и «METZ Aerials», компаниям «BRONTO SKYLIFT OY AB» и «VEMA LIFT».

В современных экономических условиях, несмотря на санкционное давление на нашу страну, ряд предприятий улучшает качество выпускаемой техники за счёт использования зарубежных технологий и комплектующих. Яркий пример тому ООО «Компания ВИТАНД», которая, используя комплектующие и технологии немецкой фирмы «IVEKO MAGIRUS», на базовом шасси КамАЗ производит ВСА с рабочей высотой до 72 метров, отличающиеся от отечественных более широким использованием компьютерных технологий, расширенными функциональными возможностями и другими инновационными техническими решениями [7]. При этом стоимость таких изделий значительно превышает отечественные аналоги. На выставке Международный салон «Комплексная безопасность 2024» ООО «Компания ВИТАНД» очередной раз представила на шасси КамАЗ-53605 (4x2) АЛ-42 (53605) с люлькой грузоподъёмностью 400 и 500 кг и соответственно различными значениями максимального вылета стрелы: 15,3 м. с максимальной нагрузкой на вершине (500 кг в люльке) и 27,8 м. – без люльки и нагрузки; а также АЛ-55(6520) на шасси КамАЗ-6520 (6x4) со спасательной люлькой и лифтом грузоподъёмностью 300 кг. и максимальным вылетом стрелы (без люльки и нагрузки) – 25,9 м. С целью повышения безопасности при работе со стрелой «Компания ВИТАНД» в виде простого конструктивного решения предусматривает на своих изделиях дополнительную защиту рабочего места водителя-оператора от возможных падающих предметов.

Сегодня «Компания ВИТАНД», используя комплектующие «MAGIRUS» производит модельный ряд пожарных телескопических автоподъёмников с лестницей: 33 м, 37 м, 44 м, 55 м и 72 м, с люлькой грузоподъёмностью 500 кг, а также модельный ряд пожарных пеноподъёмников: 33 м, 37 м, 44 м и 55 м, с насосными установками производительностью до 120 л/с.

Ещё один пример использования изделий зарубежного производства: комплектация, ранее упомянутой АЛ-52(6520) производства ООО «Приоритет», надстройкой пожарной спасательной автолестницы ERL52C производства Hyundai Everdigm Corp с расширенными функциональными возможностями.

За последние годы расширил модельный ряд ВСА белорусский производитель ООО «ПОЖСНАБ». На базовых шасси МАЗ и КамАЗ предприятие серийно выпускает 32-х метровые АЛ со съёмной люлькой на вершине стрелы по подобию пожарных автолестниц немецкой фирмы «IVEKO MAGIRUS» (Табл.3). На данных АЛ, реализована функция автоматического управления выдвижными опорами и складывания пакета колен. Шарнирно закреплённая на вершине стрелы люлька имеет места подключения разъёмов с напряжением 220 В. На поворотном основании и в люльке установлены цветные дисплеи с численным и графическим отображением рабочих параметров стрелы. Также используются и другие технические решения, характерные для пожарных автолестниц немецкой фирмы «IVEKO MAGIRUS».

Табл.3. Основные показатели пожарных автолестниц ООО «ПОЖСНАБ»

Показатели	Параметры		
	АЛ-32(5340)	АЛ-32(53605)	АЛ-32(6302)
Полная масса, кг	19500		20500
Базовое шасси	МАЗ-5340	КамАЗ-53605	МАЗ-6302
Колёсная формула	4x2		6x6
Мощность двигателя, кВт (л.с.)	200 (270)	210 (285)	242 (330)
Максимальная скорость, км/ч	85		
Габаритные размеры в транспортном	11 x 2,55 x	11 x 2,55 x 3,8	11 x 2,55 x

положении (длина x ширина x высота), м	3,45		3,82
Максимальная рабочая высота подъема, м	32		
Максимальная рабочая нагрузка на вершину неprisлоненной стрелы при максимальном вылете, кг	300		
Максимальная равномерно распределенная нагрузка на полностью выдвинутую стрелу с прислоненной вершиной при максимальном вылете, кг	640		
Максимальный вылет стрелы, м: - с максимальной нагрузкой на вершине - без нагрузки на вершине	18 20		
Время маневров стрелы при максимальной скорости движения с рабочей нагрузкой в люльке, с, при: - подъеме от минимального угла до максимального - опускании от максимального угла до минимального - повороте на 360° вправо или влево при сдвинутом и поднятом на максимальный угол пакете колен	60 55 65		

В настоящее время в ООО «ПОЖСНАБ» по новым стандартам [2] и [3] освоено производство АЛ-52 на базовом шасси МАЗ-6312 (6x4) и АПК-55 с телескопической стрелой оборудованной параллельным лестничным маршем. Можно предположить, что данный автоподъемник станет альтернативой АКП-50(6540)ПМ-514Г производства ОАО «Пожтехника».

Заключение

На основании анализа технических и эксплуатационных характеристик современных ВСА и экономической ситуации в стране можно сделать следующие основные выводы и предложения.

В целом, в связи с переходом нашей страны на новую экономическую политику (стратегия на импортозамещение) [11] в перспективе более массовыми станут ВСА отечественного производства. ВСА с надстройкой зарубежного производства из-за высокой стоимости будут иметь ограниченное применение в нашей стране.

С настоящего времени ВСА в России будут изготавливаться в соответствии с требованиями Межгосударственных стандартов [1–3] и [10].

Концепция развития пожарно-спасательной техники до 2030 года [12] наметила тенденцию изготовления многофункциональных ВСА. Пожарные автолестницы оборудуются шарнирно закреплённой люлькой на вершине стрелы, что придаёт АЛ функции АПК. Стрела пожарного телескопического автоподъемника оборудуется параллельным лестничным маршем, что придаёт АПК функции АЛ.

Производители АЛ и АПК будут реализовывать инновационные технические решения, направленные на развитие функциональности и повышения надёжности ВСА, в том числе и совершенствование компьютерных технологий (программного обеспечения) для работы с опорным контуром и стрелой в автоматическом режиме. По примеру зарубежных изготовителей будут расширяться функциональные возможности ВСА за счёт их оборудования электрическим генератором с гидравлическим или иным приводом и соответствующим электрооборудованием для обеспечения аварийно-спасательных работ.

Список источников

1. Технический регламент Евразийского экономического союза "О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения" (ТР ЕАЭС 043/2017) // решение совета ЕАЭК от 23.06.2017 №40.
2. ГОСТ 34727–2021. Межгосударственный стандарт. Техника пожарная. Автоподъёмники пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 10.09.2024).
3. ГОСТ 34729–2021. Межгосударственный стандарт. Техника пожарная. Автолестницы пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 10.09.2024).
4. ГОСТ Р 52284–2004. Автолестницы пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 10.09.2024).
5. ГОСТ Р 53329-2009. Техника пожарная. Автоподъёмники пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 10.09.2024).
6. Пивоваров В.В., Реутт М.В., Зыков В.В., Власов К.С. Оценка целесообразности внедрения в практику тушения пожаров автолестниц и автоподъёмников с рабочей высотой подъёма более 50 метров / Пожарная безопасность.-2007.- № 3.
7. Преснов А.И., Печурин А.А., Данилевич А.В. Высотно-спасательные автомобили: состояние, проблемные вопросы, технические решения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 4 (56). с. 128-136.
8. Преснов А.И., Марченко М.А., Печурин А.А. О новых подходах к созданию высотно-спасательных автомобилей на современном этапе // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 1 (69). с. 78-87.
9. Преснов А.И., Гавкалюк Б.В., Марченко М.А. Эксплуатация высотно-спасательных автомобилей: монография. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023. – 192 с.
10. ГОСТ 34350-2017 Межгосударственный стандарт. Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 30.08.2024).
11. Ситников Е.В. Переход к новой экономической политике России: ответ на угрозы, вызовы и риски // Научно-практический журнал СПб ГЭТУ «ЛЭТИ» «Инновации». 2020. № 6. С. 32-41.
12. Логинов В.И., Навценя Н.В., Яковенко К.Ю. Концепция развития пожарно-спасательной техники до 2030 года // Пожарная безопасность. 2019. № 1. С. 85–91.

References

1. Technical Regulations of the Eurasian Economic Union “On Requirements for Fire Safety and Fire Fighting Equipment” (TR EAEC 043/2017) // decision of the EAEC Council of 23.06.2017 №. 40.
2. GOST 34727-2021. Interstate standard. Fire fighting equipment. Fire fighting vehicle elevators. General technical requirements. Test methods // Electronic fund of legal and normative-technical documentation. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (date of circulation: 10.09.2024).
3. GOST 34729-2021. Interstate standard. Fire fighting equipment. Fire-fighting ladders. General technical requirements. Test methods // Electronic fund of legal and normative-technical documentation. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (date of circulation: 10.09.2024).
4. GOST R 52284-2004. Fire-fighting ladders. General technical requirements. Test methods // Electronic fund of legal and normative-technical documentation. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (date of circulation: 10.09.2024).
5. GOST R 53329-2009. Fire fighting equipment. Fire fighting elevators. General technical requirements. Test methods // Electronic fund of legal and normative-technical documentation. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (date of circulation: 10.09.2024).

6. Pivovarov V.V., Reutt M.V., Zykov V.V., Vlasov K.S. Expediency assessment of the introduction in the practice of fire extinguishing of auto-ladders and auto-lifts with the working height of more than 50 meters / Fire safety.-2007.- № 3.
7. Presnov A.I., Pechurin A.A., Danilevich A.V. High-altitude rescue vehicles: status, problem issues, technical solutions // Problems of risk management in technosphere. 2020. № 4 (56). с. 128-136.
8. Presnov A.I., Marchenko M.A., Pechurin A.A. About new approaches to the creation of high-altitude rescue vehicles at the present stage (in Russian) // Problems of Risk Management in Technosphere. 2024. № 1 (69). с. 78-87.
9. Presnov A.I., Gavkalyuk B.V., Marchenko M.A. Operation of the high-altitude rescue vehicles: monograph. St. Petersburg: St. Petersburg University GPS MES of Russia, 2023. - 192 с.
10. GOST 34350-2017 Interstate standard. Firefighting equipment. Basic fire fighting vehicles. General technical requirements. Test methods // Electronic fund of legal and normative-technical documentation. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (date of circulation: 30.08.2024).
11. Sitnikov E.V. Transition to the new economic policy of Russia: response to threats, challenges and risks // Scientific and Practical Journal of SPb GETU “LETI”. “Innovations”. 2020. № 6. С. 32-41.
12. Loginov V.I., Navtsenya N.V., Yakovenko K.Yu. Concept of the development of fire and rescue equipment up to 2030 // Fire safety. 2019. № 1. С. 85-91.

Информация об авторах

М.А. Марченко - кандидат технических наук, доцент

А.И. Преснов – кандидат технических наук, доцент

Н.М. Лоран - кандидат технических наук

Information about the author

M.A. Marchenko - PhD in Engineering Sciences, Associate Professor

A.I. Presnov - PhD in Engineering Sciences, Associate Professor

N.M. Loran - PhD in Engineering Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.07.2024, одобрена после рецензирования 26.08.2024, принята к публикации 06.09.2024.

The article was submitted 30.07.2024, approved after reviewing 26.08.2024, accepted for publication 06.09.2024.

Научная статья
УДК 656.13:614.846.6
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.61.42.025

Методика проведения проверок дымности дизельных пожарных автомобилей с использованием устройства изменения скоростного режима двигателя

*Владимир Николаевич Ложкин*¹

*Иван Владимирович Сацук*²

*Елена Ивановна Голякова*³

¹Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия,
<https://orcid.org/0000-0003-0965-3000>

^{2,3}Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия
Автор ответственный за переписку: Иван Владимирович Сацук, Kviteren@gmail.com

Аннотация. В статье проведен анализ действующей методики проверки экологической безопасности дизельных двигателей, рассмотрены процессы инерционного нагружения двигателя при резком перемещении педали топливоподачи с выходом на внешнюю корректурную ветвь. Представлены особенности регулировки устройства изменения скоростного режима дизеля для достижения заданных параметров времени воздействия на педаль топливоподачи. По результатам проведенных исследований предложено внесение изменений в методику проверки экологической безопасности.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, силовая установка, диагностика, дымность

Для цитирования: Ложкин В.Н., Сацук И.В., Голякова Е.И. Методика проведения проверок дымности дизельных пожарных автомобилей с использованием устройства изменения скоростного режима двигателя // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024; 3(34): 251-257. (In Russ.)
<https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.61.42.025>.

Original article

METHODOLOGY FOR TESTING SMOKE EMISSION OF DIESEL FIRE TRUCKS USING A DEVICE FOR CHANGING ENGINE SPEED

*Vladimir N. Lozhkin*¹

*Ivan V. Satsuk*²

*Elena I. Golyakova*³

¹Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint Petersburg, Russia,
<https://orcid.org/0000-0003-0965-3000>

^{2,3}Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

Corresponding author: Ivan V. Satsuk, Kviteren@gmail.com

Abstract. The article analyzes the current methodology for testing the environmental safety of diesel engines, considers the processes of inertial loading of the engine with a sharp movement of the fuel pedal with an exit to the external correction branch. Features of adjusting the device for changing the speed mode of the diesel engine to achieve the specified parameters of the time of action on the

fuel pedal are presented. Based on the results of the studies, changes are proposed to the methodology for testing environmental safety.

Keywords: fire trucks, power plant, diagnostics, smokiness

For citation: Lozhkin V.N., Satsuk I.V., Golyakova E.I. Methodology for testing smoke emission of diesel fire trucks using a device for changing engine speed // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024; 3(34): 251-2 ц57. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.61.42.025>.

Введение

В современных условиях, из-за высокого уровня зависимости от импорта зарубежных запасных частей и оборудования, организация безотказной эксплуатации пожарных автомобилей столкнулась с ограничениями в возможности сервисного обслуживания и ремонта пожарных автомобилей (ПА), вследствие чего возникла необходимость разработки дополнительных мероприятий по контролю и поддержанию ПА в исправном состоянии.

Состояние проблемы

Проводимые в рамках научной школы кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, исследования [1-5] подтвердили возможность использования параметра дымности, как одного из важных показателей экологической безопасности двигателя, для их диагностики и регулировки топливо-экономических характеристик.

Авторскими исследованиями [6] было выявлено, что действующая стандартизированная методика проверки экологической безопасности дизельных двигателей [7] имеет возможность наличия методической погрешности за счёт субъективности воспроизведения процедуры свободного ускорения человеком, вследствие чего было разработано устройство изменения скоростного режима двигателя [8], которое увеличивало точность замеров дымности за счёт равномерного стандартного перемещения педали топливоподачи. Однако временной параметр 0,5-1 секунда перемещения педали топливоподачи до упора, указанный в государственном стандарте проверки экологической безопасности дизельного двигателя, не в полной мере отражает динамику изменения мощности нагружения двигателя в режиме свободного ускорения, что в свою очередь влияет на концентрацию сажи в отработавших газах.

В соответствии с результатами исследования параметров инерционного нагружения дизельного двигателя Д-240 [9], представленными на Рис.1, было выявлено, что угловое ускорение коленчатого вала зависит от времени перемещения рычага управления топливоподачей, изменяясь пропорционально динамическому моменту нагружения.

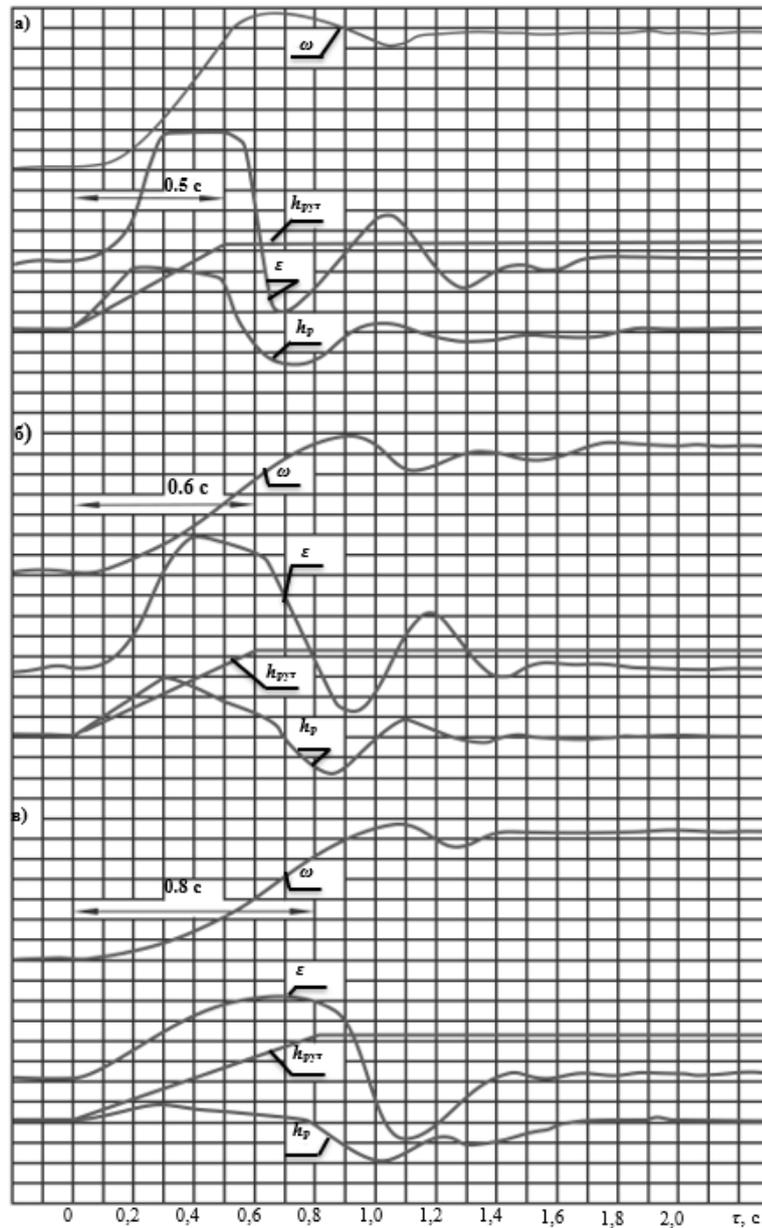


Рис.1. График изменения угловых скоростей и ускорения коленчатого вала дизельного двигателя Д-240 от времени воздействия на педаль топливоподачи

где: ε – угловая скорость коленчатого вала; ω - угловое ускорение коленчатого вала; h_p - ход рейки топливного насоса; $h_{pyт}$ – ход рычага управления топливоподачей.

При плавном нажатии на педаль топливоподачей до упора за 0,5 секунд характер изменения динамической нагрузки протекал по внешней корректурной ветви (кривая ε , Рис.1а), при которой обеспечивается возможность минимизации последствий кратковременных перегрузок двигателя за счет дополнительной подачи топлива в цилиндры и характеризуется повышенным содержанием сажи в отработавших газах. При нажатии педали за 0,6 секунд (Рис.1б) двигатель достигал значения внешней корректурной ветви только на время 0,01 секунды, а при воздействии за 0,8 секунд (Рис.1в) двигатель ее не достигал.

Объекты и методика исследования

Методика предполагала:

- выявить закономерности изменения дымности отработавших газов ПА различных экологических классов от времени нажатия на педаль топливоподачи;

- обосновать временные параметры воздействия на педаль топливоподачи в методике проведения проверок дымности дизельных ПА с использованием устройства изменения скоростного режима двигателя.

Для выявления взаимосвязи параметров работы дизельного двигателя при неустановившихся режимах и влияния скорости перемещения педали топливоподачи на дымность ПА проведены испытания АЦ-3,2-40/4 (43265) МОД. 014-МС, АЦ-3,2-40/4 (43253) МОД. 001-МС и АКП-32 (43118) интенсивного использования различных экологических классов.

Испытания проводились с использованием устройства скоростного режима, представленного на Рис.2, в котором микроконтроллер в соответствии с заданной программой [10] формировал командные сигналы на релейный модуль для переключения направления потоков воздуха в электромагнитном клапане. Путем регулировки выходного давления с помощью редуктора компрессора в диапазоне от 0,01, 0,05, 0,1, 0,15 и 0,2 МПа, время нажатия на педаль топливоподачи до упора штоком пневматического цилиндра составило 2,4, 1,4, 0,9, 0,3 и 0,1 секунду соответственно.



а)



б)

*Рис.2. Размещение устройства изменения скоростного режима двигателя
а) вид в кабине ПА; б) вид около кабины ПА*

Проверки дымности ПА проводились с использованием измерителя дымности ОГ «МЕТА-01 МП 0.1» путем равномерного перемещения педали топливоподачи ПА за различные временные интервалы, инициируя создание 6 циклов свободного ускорения коленчатого вала двигателя с замером наибольшей дымности каждого цикла.

Результаты исследования и обработка данных

На панели приборов и выключателей ПА отсутствовала индикация о неисправностях автомобиля, внешний осмотр систем выпуска и нейтрализации отработавших газов недостатков не выявил. Результаты проверки дымности представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Результаты проверки дымности ПА

№ п/п	Наименование параметра и модели ПА	Время перемещения педали топливоподачи, сек.				
		0,1	0,3	0,9	1,4	2,4
1.	Дымность АЦ-3,2-40/4 (43265) МОД. 014-МС с двигателем Cummins ISB6.7E5310 (ЕВРО-5), м ⁻¹	0,3	0,3	0,3	0,31	0,31
2.	Дымность АЦ-3,2-40/4 (43253) МОД. 001-МС с двигателем Cummins 6ISBe210 (ЕВРО-3), м ⁻¹	0,42	0,49	0,45	0,41	0,38
3.	Дымность АКП-32 (43118) с двигателем КАМАЗ 740310 (ЕВРО-0), м ⁻¹	1,34	1,18	0,86	0,21	0,11

Результаты проверки ПА пятого экологического класса показали, что независимо от времени нажатия на педаль топливоподачи дымность отработавших газов практически не изменяется, что может быть связано с работой систем автоматики ПА, за счет предварительного анализа параметров работы электронным блоком управления двигателя протекающих процессов с выдачей регулировочных сигналов на исполнительные устройства с целью минимизации опасных переходных процессов.

Максимальные значения дымности ПА третьего и нулевого экологического класса регистрировались при воздействии на педаль топливоподачи за 0,3 секунды, что свидетельствовало о выходе двигателя на внешнюю корректурную ветвь.

Заключение

Проведенные исследования в рамках разработки методики проведения проверок дымности дизельных пожарных автомобилей с использованием устройства изменения скоростного режима двигателя свидетельствуют о необходимости внесения изменений с стандартизированную методику проверки экологической безопасности дизельных двигателей, уменьшив временные параметры воздействия на педаль топливоподачи с 0,5-1 секунды до 0,3-0,5 секунды, так как именно этот временной промежуток обеспечивает выход двигателя на внешнюю корректурную ветвь, сопровождающуюся повышенным содержанием сажи в отработавших газах.

Список источников

1. Саватеев А.И. Модификация систем выпуска отработавших газов пожарных автомобилей, разогреваемыми каталитическими конверторами: специальность 05.26.03 "Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Саватеев А.И. – Санкт-Петербург, 2002. – 163 с.
2. Сморяго В.В. Повышение безопасности применения дизельных пожарных автомобилей путем оптимизации регулировок топливной аппаратуры : специальность 05.26.03 "Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сморяго Владимир Валерьевич. – Санкт-Петербург, 2006. – 136 с.
3. Филин И.Н. Улучшение экологических показателей автомобилей семейства КамАЗ путем применения рациональных регулировок топливной системы и нейтрализации отработавших газов : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.20.03 / С.-Петербург. аграрный ун-т.- Санкт-Петербург, 1995.- 18 с.: ил. РГБ ОД, 9 95-4/1885-2.
4. Фомичев А.И. Комплексный метод оперативного контроля топливных и экологических показателей работы тракторных дизелей в условиях эксплуатации: специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Фомичев А.И. – Ленинград-Пушкин, 1990. – 186 с.
5. Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н., Сацук И.В. Сервис пожарной безопасности по критериям технической готовности машин специального назначения // Проблемы

управления рисками в техносфере. 2024. №. 1. С. 60-66. DOI: <https://doi.org/10.61260/1998-8990-2024-1-60-66>.

6. Сацук И.В. Теоретическая модель диагностирования силовых установок пожарных автомобилей по критериям конструктивной (пожарной) безопасности / Сацук И.В. // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2024. – Т. 32, № 1. – С. 160-168. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.66.36.017.

7. ГОСТ 33997-2016. «Межгосударственный стандарт. Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71871854/>.

8. Патент на полезную модель № 226702 U1 Российская Федерация, МПК F02D 41/10, G01M 15/02. Устройство изменения скоростного режима дизеля при измерении дымности отработавших газов: № 2024103760: заявл. 15.02.2024: опубл. 18.06.2024 / Галайко В.В., Ложкин В.Н., Сацук И.В.

9. Ложкин В.Н. Электромеханический манипулятор для выявления аварийно-опасных режимов эксплуатации дизельных машин в условиях Арктики / Ложкин В.Н. // Экстремальная робототехника. – 2021. – № 1(32). – С. 123-130.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023688413 Российская Федерация. Программа управления робота-манипулятора на базе Arduino для выполнения операций в рамках проверки дизельных пожарных автомобилей на дымность в режиме свободного ускорения: № 2023688453: заявл. 22.12.2023: опубл. 22.12.2023 / Сацук И.В., Ложкин В.Н., заявитель ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России.

References

1. Savateev A.I. Modification of exhaust systems of fire trucks, heated by catalytic converters: specialty 05.26.03 "Fire and industrial safety (by industry)": dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Savateev A.I. - St. Petersburg, 2002. - 163 p.

2. Smorygo V.V. Improving the safety of using diesel fire trucks by optimizing the adjustments of fuel equipment: specialty 05.26.03 "Fire and industrial safety (by industry)": dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Smorygo Vladimir Valerievich. - St. Petersburg, 2006. - 136 p.

3. Filin I.N. Improving the environmental performance of KamAZ family vehicles by using rational adjustments to the fuel system and neutralization of exhaust gases: abstract of the dissertation ... candidate of technical sciences: 05.20.03 / St. Petersburg. Agrarian University. - St. Petersburg, 1995 - 18 p.: ill. RSL OD, 9 95-4 / 1885-2.

4. Fomichev A.I. Integrated method for operational monitoring of fuel and environmental performance of tractor diesel engines under operating conditions: specialty 05.20.03 "Technologies and means of maintenance in agriculture": dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Fomichev A.I. - Leningrad-Pushkin, 1990. - 186 p.

5. Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N., Satsuk I.V. Fire safety service based on technical readiness criteria for special-purpose vehicles // Problems of risk management in the technosphere. 2024. №. 1. P. 60-66. DOI: <https://doi.org/10.61260/1998-8990-2024-1-60-66>.

6. Satsuk I.V. Theoretical model for diagnosing power plants of fire trucks based on design (fire) safety criteria / I. V. Satsuk // Siberian fire and rescue bulletin. - 2024. - Vol. 32, №. 1. - P. 160-168. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.66.36.017.

7. GOST 33997-2016. "Interstate standard. Wheeled vehicles. Operational safety requirements and testing methods" [Electronic resource]. – Access mode: <https://base.garant.ru/71871854/>.

8. Patent for utility model №. 226702 U1 Russian Federation, IPC F02D 41/10, G01M 15/02. Device for changing the speed mode of a diesel engine when measuring exhaust smoke: №. 2024103760: declared. 15.02.2024: publ. 18.06.2024 / Galayko V.V., Lozhkin V.N., Satsuk I.V.

9. Lozhkin V.N. Electromechanical manipulator for identifying emergency-hazardous modes of operation of diesel vehicles in Arctic conditions / Lozhkin V.N. // Extreme robotics. - 2021. - №. 1 (32). - P. 123-130.

10. Certificate of state registration of computer program №. 2023688413 Russian Federation. Control program for an Arduino-based robotic manipulator for performing operations as part of checking diesel fire trucks for smoke in free acceleration mode: №. 2023688453: declared. 22.12.2023: publ. 12/22/2023 / Satsuk I.V., Lozhkin V.N.; applicant FGBOU VO Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia.

Информация об авторах

В.Н. Ложкин - доктор технических наук, профессор

Е.И. Голякова - кандидат технических наук

Information about the author

V.N. Lozhkin - Doctor of Technical Sciences, Professor

E.I. Golyakova - PhD in Technical Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.07.2024, одобрена после рецензирования 26.08.2024, принята к публикации 06.09.2024.

The article was submitted 30.07.2024, approved after reviewing 26.08.2024, accepted for publication 06.09.2024.